

PENGARUH OLAH TANAH DAN PEMUPUKAN TERHADAP PERILAKU JERAPAN FOSFOR DAN FOSFOR TERPANEN PADA PERTANAMAN EDAMAME (*Glycine max* L. Merril) DI TANAH ULTISOL GEDUNG MENENG PADA MUSIM TANAM KESEPULUH

EFFECTS OF TILLAGE AND FERTILIZATION ON PHOSPHORUS ADSORPTION BEHAVIOR AND HARVESTED PHOSPHORUS IN EDAMAME (*Glycine max* L. Merr.) CULTIVATED ON ULTISOLS AT GEDUNG MENENG DURING THE TENTH CROPPING SEASON

Amalia Hayati, Septi Nurul Aini*, Nur Afni Afrianti, dan Supriatin
Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: septi.nurulaini@gmail.com

ARTICLE HISTORY:

Received: 05 January 2026
Peer Review: 11 January 2026
Accepted: 29 May 2026

KATA KUNCI:

Edamame, jerapan maksimum P (X_{max}), olah tanah, P terpanen, pupuk

KEYWORDS:

Edamame, fertilization, harvested phosphorus, phosphorus adsorption (X_{max}), tillage

ABSTRAK

Tanah Ultisol umumnya dicirikan oleh kesuburan yang rendah, kandungan bahan organik yang terbatas, reaksi tanah yang masam, serta tingkat kejenuhan aluminium (Al) dan besi (Fe) yang relatif tinggi. Pada kondisi masam, oksida Al dan Fe memiliki dominasi muatan positif yang lebih besar sehingga meningkatkan kemampuan tanah dalam mengadsorpsi fosfor (P). Tingginya adsorpsi P tersebut menyebabkan ketersediaan fosfor bagi tanaman menjadi terbatas. Suatu upaya menurunkan jerapan P tanah dan meningkatkan P terpanen tanaman yaitu intensifikasi lahan dan pemupukan baik secara organik maupun anorganik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh olah tanah dan pemupukan terhadap jerapan fosfor, jumlah fosfor terpanen dan korelasi antara jerapan fosfor dengan fosfor terpanen tanaman edamame. Penelitian ini mengimplementasikan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua perlakuan: olah tanah minim (T0) dan olah tanah intensif (T1), serta dua jenis pemupukan: tanpa pupuk (P0) dan kombinasi pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ serta pupuk kandang ayam 1 Mg ha⁻¹ (P1). Setiap perlakuan diulang empat kali. Masing-masing dari perlakuan diulang empat kali. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan olah tanah minimum mampu menurunkan jerapan maksimum P (X_{max}), namun tidak berpengaruh nyata terhadap P-terpanen dan biomassa kering tanaman edamame. Sedangkan, pemberian pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ dan pupuk kandang ayam 1000 kg ha⁻¹ mampu menurunkan jerapan maksimum P (X_{max}) dan berpengaruh nyata terhadap P-terpanen dan biomassa kering tanaman edamame. Selain itu, jerapan maksimum P (X_{max}) menunjukkan korelasi negatif terhadap P-tersedia dan P-potensial.

ABSTRACT

Ultisols are generally characterized by low fertility, limited organic matter content, acidic soil conditions, and relatively high levels of aluminum (Al) and iron (Fe) saturation. Under acidic conditions, Al and Fe oxides exhibit a greater dominance of positive charges, thereby enhancing the soil's capacity to adsorb phosphorus (P). This high phosphorus adsorption reduces P availability to plants. An effort to reduce soil P adsorption and increase harvested P in plants is through land intensification and fertilization, both organic and inorganic. This research aimed to investigate the impact of tillage and fertilization on phosphorus adsorption, the amount of harvested phosphorus, and the correlation between phosphorus adsorption and harvested phosphorus in edamame plants. A factorial randomized complete block design was utilized, featuring two tillage levels: minimum tillage (T0) and intensive tillage (T1). There were also two fertilization treatments: no fertilizer (P0) versus a combination of 200 kg ha⁻¹ NPK and 1 Mg ha⁻¹ chicken manure (P1), each replicated four times. Results indicated that minimum tillage treatment can reduce the maximum P adsorption (X_{max}), but does not have a significant effect on harvested P and dry biomass of edamame plants. In contrast, the application of 200 kg ha⁻¹ NPK fertilizer and 1000 kg ha⁻¹ chicken manure can reduce the maximum P adsorption (X_{max}) and has a significant effect on harvested P and dry biomass of edamame plants. Additionally, the maximum P adsorption (X_{max}) showed a negative correlation with available P and potential P.

1. PENDAHULUAN

Edamame (*Glycine max* L. Merril) mengandung protein, vitamin, serta mineral yang tinggi sehingga menjadikan edamame sebagai pangan yang bergizi dan berpotensi untuk dikembangkan agar produksi edamame meningkat. Peningkatan produksi edamame tidak hanya dapat memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang, tetapi juga menciptakan peluang ekonomi bagi petani sebagai jenis kedelai yang unggul dalam produksi dan nilai gizi (Sularno *et al.*, 2024). Hasil produksi edamame di Indonesia, dapat menghasilkan antara 3,5 ton hingga 8 ton ha⁻¹ (Yuriansyah *et al.*, 2023). Namun, potensi produksi edamame dapat mencapai 10 ton ha⁻¹ jika dilakukan pengelolaan yang tepat (Suwardike *et al.*, 2024). Suatu usaha untuk mencapai tingkat optimal produksi edamame yaitu ekstensifikasi dan intensifikasi lahan. Ekstensifikasi lahan merupakan kegiatan penambahan luas lahan sebagai lahan pertanaman edamame. Sedangkan, intensifikasi adalah kegiatan untuk meningkatkan produksi lahan dengan cara memanfaatkan dan mengolah lahan yang ada. Namun, ekstensifikasi lahan dinilai kurang efektif karena terbatasnya lahan yang digunakan sebagai lahan pertanian di Indonesia. Keterbatasan lahan pertanian di Indonesia disebabkan beberapa faktor seperti tingginya alih fungsi dari lahan pertanian menjadi lahan yang bukan pertanian, seperti perumahan, industri dan infrastruktur (Julaili, 2019). Oleh karena itu, intensifikasi menjadi suatu upaya untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Sekitar 25% dari daratan di Indonesia terdiri dari tanah Ultisol yang terkenal akan tingkat kesuburan yang rendah. Ultisol memiliki beberapa kekurangan, antara lain rendahnya kadar bahan organik dan kapasitas tukar kation (KTK) rendah, serta sedikitnya muatan negatif pada permukaan koloid tanah, menyebabkan pH tanah berada di kisaran asam, yaitu sekitar 5,5, dengan kejenuhan aluminium (Al) dan besi (Fe) yang tinggi (Marcano dan McBride, 1989; Tan, 2008). Kurangnya muatan negatif pada koloid tersebut meningkatkan nilai penjerapan fosfor pada koloid tanah. Umumnya, jenis tanah ini memiliki sedikit bahan organik dan mengandung fraksi liat seperti kaolinit, haolisit, serta oksida-hidroksida Al dan Fe yang merupakan liat aktivasi rendah. Kondisi tersebut mengakibatkan tanah Ultisol memiliki daya jerap terhadap fosfor yang kuat, sehingga ketersediaan fosfor di tanah menjadi rendah (Su dan Harsh, 1996).

Sebagai upaya memperbaiki kondisi tanah Ultisol perlu dilakukan olah tanah dan pemupukan. Olah tanah minimum merupakan suatu olah tanah yang berprinsip pada konservasi tanah dan air dengan membiarkan sisa tanaman yang telah disiangi menutupi lahan sebagai mulsa, lalu membuat lubang tanam. Penggunaan mulsa ini memiliki berbagai manfaat bagi tanah, di antaranya menurunkan resiko erosi dengan melindungi permukaan tanah dan mempertahankan lapisan tanah yang kaya unsur hara. Mulsa berperan menekan pertumbuhan gulma yang berpotensi bersaing dengan tanaman budidaya dalam menyerap fosfor, sehingga meningkatkan fosfor terpanen pada tanaman budidaya. Dengan demikian, penerapan mulsa dapat meningkatkan kualitas tanah secara keseluruhan, meningkatkan ketersediaan fosfor, mendukung pertumbuhan yang optimal, serta memberikan hasil panen yang lebih baik (Banjarnahor, 2022).

Sementara itu, olah tanah intensif ialah dua hingga tiga kali olah tanah menggunakan alat, salah satu contoh alatnya yaitu cangkul yang bertujuan agar tanah menjadi gembur. Sebelum proses penggemburan dimulai, tanah sebelum dibersihkan dari gulma (tanaman liar) dan sisa tanaman.. Meski efektif menggemburkan tanah, metode ini membutuhkan biaya lebih besar dan dapat menurunkan kualitas tanah melalui kerusakan struktur, hilangnya bahan organik, meningkatnya risiko erosi, serta pemadatan tanah yang menurunkan produktivitas (Utomo *et al.*, 2012).

Upaya lain untuk menurunkan jerapan fosfor dan meningkatkan fosfor terpanen pada tanah Ultisol adalah pemupukan. Pemupukan dapat diberikan secara organik ataupun anorganik. Pupuk organik ialah pupuk yang menggunakan bahan dasar organik seperti sisa-sisa tanaman yang kemudian akan terurai melalui proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah. Penambahan bahan

organik akan menghasilkan asam organik yang dapat membentuk ikatan khelat dengan ion-ion Al dan Fe. Sehingga, kelarutan ion Al dan Fe akan menurun dan ketersediaan hara fosfor pada tanah meningkat (Salawati *et al.*, 2022). Meningkatnya fosfor tersedia dalam tanah maka akan meningkatkan fosfor terpanen pada tanaman (Aini *et al.*, 2022).

Sedangkan, pupuk anorganik berasal dari bahan kimia berupa hara tersedia yang dapat diserap tanaman secara langsung, sehingga mampu meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah serta meningkatkan fosfor terpanen tanaman. Meskipun begitu, penggunaan pupuk anorganik berkepanjangan dapat meningkatkan kemasaman merusak keseimbangan hara tanah, dan menurunkan hasil produksi. Maka dari itu, dilakukan kombinasi pupuk organik dan pupuk anorganik supaya jerapan fosfor menurun dan fosfor terpanen meningkat serta mengurangi resiko kerusakan lahan akibat pupuk anorganik (Fahmi *et al.*, 2014). Penentuan jerapan maksimum fosfor dalam tanah pada penelitian ini menggunakan persamaan Langmuir. Prinsip dari persamaan Langmuir adalah mengukur jumlah fosfor yang terjerap pada permukaan koloid tanah yang akan dianalisis (Asnandi *et al.*, 2023).

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama periode Maret hingga Desember 2024. Kegiatan budidaya edamame dilakukan di Laboratorium Lapang Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selanjutnya, pengujian sifat tanah dan analisis jaringan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Secara umum, penelitian terdiri atas dua tahap utama, yaitu pelaksanaan percobaan di lapangan dan kegiatan analisis di laboratorium.

2.1 Percobaan Lapang

Percobaan lapang dilakukan dengan menggunakan peralatan berupa meteran, cangkul, sekop, selang air, dan pipa. Bahan pada percobaan lapang meliputi benih edamame varietas Ryoko 75, pupuk NPK majemuk (16% N, 16% P₂O₅, 16% K₂O), serta pupuk kandang ayam. Penelitian ini bersifat jangka panjang dengan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor. Faktor pertama adalah sistem olah tanah (T), yang terdiri atas olah tanah minimum (T₀) dan olah tanah intensif (T₁). Faktor kedua adalah pemupukan (P), yaitu tanpa pupuk (P₀) dan kombinasi pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ dengan pupuk kandang ayam 1000 kg ha⁻¹ (P₁).

Pada plot pengolahan tanah minimal, tanah dibiarkan diproses seminimal mungkin dengan membiarkan sisa tanaman yang telah dibersihkan menutupi lahan sebagai mulsa dan membuat lubang tanam. Di sisi lain, pada plot pengolahan tanah intensif, tanah diolah 2-3 kali dengan cara membongkar tanah menggunakan alat seperti cangkul, dan gulma yang ada di tanah dibersihkan. Penanaman dilakukan dengan menempatkan 2-3 benih edamame varietas Ryoko 75 di setiap lubang. Pemupukan untuk perlakuan P₁ dilakukan secara bertahap, yaitu pupuk kandang ayam 1000 kg ha⁻¹ diaplikasikan saat tanam, sedangkan pupuk NPK majemuk 200 kg ha⁻¹ diberikan dua minggu setelah tanam. Dosis pupuk kemudian dikonversikan ke dalam satuan gram per petak percobaan sesuai kebutuhan perlakuan.

Selain itu, dilakukan pemeliharaan tanam dilakukan dengan cara menyiram tanaman edamame setiap hari pada pagi dan sore hari. Kemudian, setiap seminggu sekali dilakukan penyiangan gulma secara manual menggunakan koret. Setelah itu, dilakukan pemanenan pada saat edamame berumur 70 HST dan memiliki ciri polong berwarna hijau segar, polong sudah penuh terisi biji (terlihat bulat dan menggembung) dan polong tidak terlalu keras. Pemanenan dilakukan dengan mengambil 5 tanaman sampel yang telah ditetapkan pada setiap petak. Pemanenan tersebut mencakup brangkasan,

polong, dan biji sebagai sampel pada saat penimbangan bobot kering tanaman. Sampel tanah diambil dengan bor tanah pada kedalaman 0–20 cm (lapisan tanah atas) di lima titik acak pada setiap petak percobaan. Selanjutnya, sampel dari tiap petak perlakuan (T0P0, T0P1, T1P0, dan T1P1) dikompositkan, kemudian dikeringudarkan dan disaring menggunakan ayakan 2 mm.

2.2 Analisis Laboratorium

Peralatan yang digunakan dalam kegiatan analisis laboratorium meliputi oven, pipet tetes, pH meter, neraca analitik, kertas saring, gelas ukur, gelas beker, tabung reaksi, corong, alat pengocok, spektrofotometer, botol kocok, label sampel, labu Erlenmeyer, serta sentrifus. Sedangkan untuk bahan analisis laboratorium meliputi, larutan pengekstrak Bray 1, larutan standar P, larutan kerja (asam molibdat dan asam askorbat), asam sulfat pekat, asam fosfat, NaF 1N, HCl 25%, CaCl₂ 1M, serta akuades. Variabel utama penelitian adalah jerapan fosfor dan fosfor terpanen, dengan analisis jerapan fosfor dilakukan menggunakan parameter isotermik Langmuir. Pembuatan larutan seri P mengacu pada metode penelitian sebelumnya (Sari, 2015; Carter & Gregorich, 2008; Fiantis, 2004) yang telah dimodifikasi sesuai kebutuhan. Larutan seri yang digunakan memiliki konsentrasi 0, 10, 20, 50, 100, dan 200 ppm P.

Dalam analisis, 1 g tanah dipindahkan ke dalam botol kocok, kemudian 10 ml larutan seri P yang dicampur dengan 10 ml larutan CaCl₂ 1M ditambahkan pada botol kocok tersebut. Campuran dikocok selama 120 menit menggunakan shaker dan disentrifugasi dengan 3000 rpm dalam jangka waktu 10 menit. Larutan hasil filtrat yang jernih kemudian dianalisis kadar fosfornya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 720 nm. Nilai jerapan fosfor diperoleh dari perbedaan konsentrasi P yang diberikan dan P yang terekstrak, kemudian dihitung menggunakan persamaan Langmuir (Carter & Gregorich, 2008; Fiantis, 2004). Adapun persamaannya dapat sebagai berikut :

$$\frac{c}{q} = \frac{1}{Kb} + \frac{1}{b} C \quad (1)$$

Keterangan: C/q = Indeks jerapan fosfor; K = Energi relatif ikatan fosfor; b = Jerapan maksimum fosfor (mg P kg⁻¹); C = Konsentrasi fosfor dalam larutan kesetimbangan (mg P L⁻¹); q = Jumlah fosfor yang terjerap (mg P kg⁻¹).

Sedangkan, analisis fosfor terpanen dilakukan pada sampel tanaman dengan cara mengeringkan sampel tanaman (brangkasan, polong, biji) dengan oven, dalam kurun waktu 48 jam dengan tingkatan suhu 60-65°C. Setelah itu, sampel tanaman digiling sampai halus dan ditimbang 1 g. Kemudian, sampel tanaman dikeringabukan menggunakan tungku pengabuan selama 2 jam dengan suhu 300°C, lalu suhu dinaikkan sampai 500°C selama 4 jam kemudian tungku yang digunakan untuk pengabuan dimatikan dan sampel didiamkan hingga dingin. Sampel yang sudah dingin ditetesi aquades sampai basah dan ditambahkan 10 ml HCl 1N pada lempengan pemanas hingga mendidih. Setelah mendidih pindahkan cawan dan biarkan mendingin, kemudian lakukan penyaringan abu dengan kertas saring yang telah dibilas larutan asam. Setelah itu, tuangkan 10 ml HCl 1 N pada kertas saring diatas cawan. Selanjutnya, kertas saring dibilas dengan 50 ml aquades dan diencerkan ke dalam labu ukur dengan aquades sampai batas tera 100 ml dan dianalisis P-terpanen yang terkandung dalam sampel tanaman tersebut (Thom dan Utomo, 1991).

2.3 Analisis Data

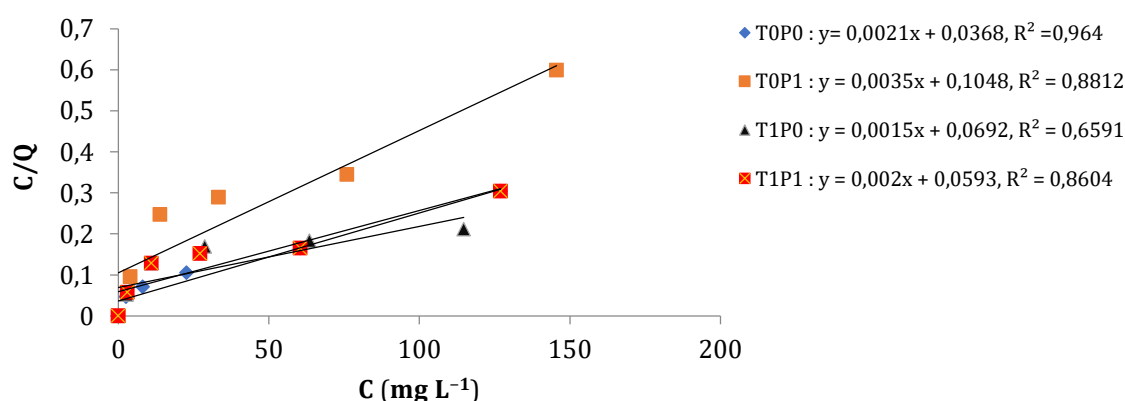
Uji homogenitas ragam dilakukan terhadap data berat kering tanaman edamame (brangkasan, polong, dan biji), sedangkan P-terpanen diuji menggunakan uji *Bartlett*, dan uji aditivitas dilakukan dengan uji *Tukey*. Setelah asumsi terpenuhi, analisis ragam dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf nyata 5% untuk mengetahui perbedaan nilai rata-rata antarperlakuan. Uji *Student-t* pada taraf nyata 5% digunakan untuk membandingkan nilai jerapan maksimum fosfor pada setiap perlakuan, serta

membandingkan nilai relatif jerapan fosfor antarperlakuan berdasarkan model isotermik Langmuir. Selanjutnya, uji korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antarparameter fosfor, meliputi P-tersedia, P-potensial, dan P-terpanen, serta hubungan jerapan maksimum fosfor ($X_{\max}$) dan energi jerapan fosfor (K) dengan P-tersedia, P-total, P-terpanen, dan biomassa kering tanaman edamame.

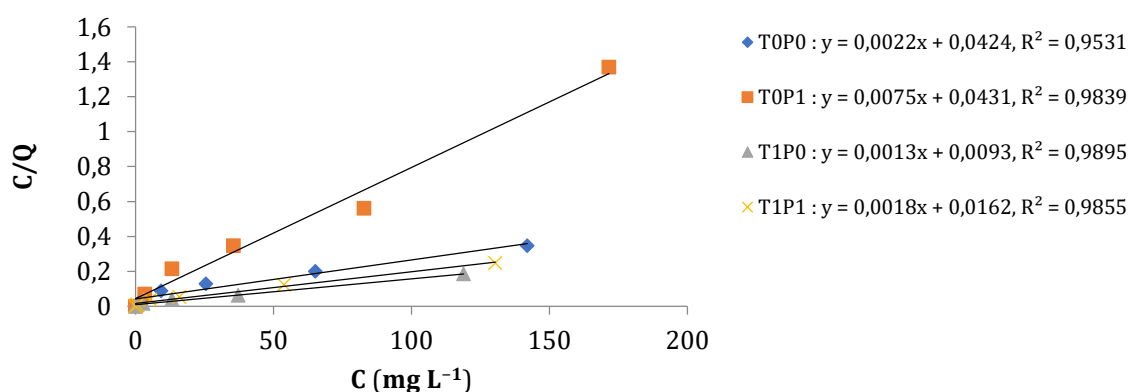
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perilaku Jerapan Maksimum P ($X_{\max}$) dan Energi Ikatan Relatif (K_L) pada Tanah Ultisol Gedung Meneng akibat Perlakuan Olah Tanah dan Pemupukan pada Musim Tanam Kesepuluh

Pengukuran kandungan P pada larutan seri memberikan nilai kandungan P awal, sementara analisis P yang diekstrak pada setiap perlakuan mengungkapkan kandungan P yang tersedia dalam larutan tanah (C). Perbedaan antara kedua angka tersebut dihitung sebagai P terjerap (q). Nilai $X_{\max}$ diidentifikasi dari kemiringan garis, sedangkan K_L didapatkan dari titik potong pada sumbu Y. Kemudian, dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara indeks jerapan P (C/q) dan konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (C), baik sebelum penanaman maupun setelah panen, yang diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2. Hasil analisis grafik ini menghasilkan persamaan linier Langmuir seperti dalam Tabel 1. Grafik tersebut menunjukkan bahwa peningkatan C/q berbanding terbalik dengan jumlah P yang terjerap.



Gambar 1. Grafik hubungan antara indeks jerapan P (C/q) dengan konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (C) pada sampel awal.



Gambar 2. Grafik hubungan antara indeks jerapan P (C/q) dengan konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (C) pada sampel akhir.

Tabel 1. Persamaan linier isotermik langmuir jerapan P tanah akibat olah tanah dan pemupukan

Perlakuan	Persamaan	R ²	X _{max} (mg P kg ⁻¹)	K _L
<i>Sampel Awal (sebelum tanam)</i>				
T0P0	$y = 0,0021x + 0,0368$	0,964	476,190	0,057
T0P1	$y = 0,0035x + 0,1048$	0,881	285,714	0,033
T1P0	$y = 0,0015x + 0,0692$	0,659	666,667	0,217
T1P1	$y = 0,002x + 0,0593$	0,860	500,000	0,034
<i>Sampel Akhir (setelah panen)</i>				
T0P0	$y = 0,0022x + 0,0424$	0,953	454,545	0,052
T0P1	$y = 0,0075x + 0,0431$	0,984	133,333	0,174
T1P0	$y = 0,0013x + 0,0093$	0,989	769,231	0,245
T1P1	$y = 0,0018x + 0,0162$	0,985	555,556	0,111

Keterangan : T0P0 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T0P1 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T1P0 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T1P1 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T0P0 akhir (Olah Tanah Minimum + Tanpa Pupuk), T0P1 akhir (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹), T1P0 akhir (Olah Tanah Intensif + Tanpa Pupuk), T1P1 akhir (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹).

Berdasarkan data pada Tabel 1, diketahui perlakuan T0P0 dan T0P1 mampu menurunkan nilai jerapan P maksimum pada tanah. Menurut hasil penelitian oleh Rizki *et al.* (2024), bahwa olah tanah minimum dapat berperan sebagai bahan organik tambahan karena adanya mulsa. Hasil dekomposisi bahan organik mengandung gugus fungsional yang bermuatan negatif yang dapat mengikat koloid Al dan Fe oksida yang bermuatan positif, sehingga terjadi penurunan jerapan P pada tanah (Aini *et al.*, 2025). Selain itu, dapat diketahui bahwa pada perlakuan T1P0 dan T1P1 memiliki nilai jerapan P yang tinggi pada sampel akhir dibandingkan sampel awal. Hal tersebut menandakan adanya peningkatan jerapan P maksimum pada perlakuan olah tanah intensif dalam jangka waktu panjang. Tingginya resiko terjadinya pencucian kation basa yang mengakibatkan penurunan pH tanah, sehingga muatan positif pada koloid tanah meningkat (Dewi *et al.*, 2024). Energi ikatan relatif P (K_L) adalah nilai yang mengindikasikan kemampuan permukaan koloid tanah dalam mengikat P yang ada dalam larutan kesetimbangan (Rashmi *et al.*, 2015). Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat disimpulkan, bahwa hanya pada perlakuan T0P1 nilai K_L nilai K_L meningkat meskipun nilai X_{max} menurun. Hal tersebut dapat terjadi jika pada tanah tersisa koloid oksida Al dan Fe yang memiliki afinitas yang tinggi meskipun dalam jumlah yang sedikit (Lumbanraja *et al.*, 2018).

3.2 Uji Statistik Parameter Jerapan Maksimum P (X_{max}) dan Energi Ikatan Relatif P (K_L)

Uji *student-t* pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan jerapan maksimum P (X_{max}) dan energi ikatan relatif P (K_L) antar perlakuan. Berdasarkan Tabel 2 diperoleh Kesimpulan bahwa nilai t-hitung X_{max} berbeda nyata pada perlakuan T1P0 vs T0P1 dan T1P1 vs T0P0 sebelum panen, berbeda nyata pada perlakuan T0P0 dan T0P1 setelah panen, dan berbeda sangat nyata pada perlakuan T1P0 vs T0P1 dan T1P1 vs T0P0 setelah panen. Nilai X_{max} pada perlakuan T0P1 lebih rendah dibandingkan perlakuan T0P0, T1P0, dan T1P1. Rendahnya nilai X_{max} pada perlakuan T0P1 diduga karena adanya kombinasi antara olah tanah minimum dan pemupukan.

Sesuai dengan penelitian Kusumastuti *et al.* (2018), menyatakan perlakuan olah tanah minimum yang dikombinasikan dengan penambahan bahan organik dapat menurunkan kemasamaan tanah sehingga tingkat kejenuhan Al dan Fe pada tanah menurun. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya muatan negatif pada koloid tanah, sehingga jerapan P menurun (Lumbanraja *et al.*, 2018). Pada perlakuan T0P0 memiliki nilai K_L lebih rendah dibandingkan T1P0 dan T1P1. Hal ini menunjukkan olah intensif dapat meningkatkan nilai K_L karena meningkatnya

aerasi tanah yang mengakibatkan oksida Al dan Fe lebih reaktif, sehingga kekuatan koloid meningkat (Simamora *et al.*, 2015).

3.3 P-terpanen Tanaman Edamame

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa P-terpanen brangkasan dan P-terpanen total (brangkasan, polong, biji) tanaman edamame pada perlakuan pemupukan berpengaruh sangat nyata. Sedangkan, pada P-terpanen polong dan P-terpanen biji tanaman edamame pada perlakuan olah tanah maupun pemupukan tidak berpengaruh. Selain itu, interaksi antar perlakuan yaitu olah tanah dan pemupukan juga tidak berpengaruh terhadap P-terpanen tanaman edamame (brangkasan, polong, biji).

Tabel 2. Uji *student-t* pada parameter jerapan maksimum P ($X_{\max}$) dan energi ikatan relatif P (K_L)

Perlakuan	t hitung		t tabel	
	$X_{\max}$	K_L	0,05	0,01
<i>Sample Awal (sebelum tanam)</i>				
T0P0 vs T0P1	3,974tn	3,162tn	4,303	9,925
T1P0 vs T0P0	2,981tn	-10,325tn		
T1P1 vs T0P0	0,139tn	-6,395tn		
T1P0 vs T0P1	7,826*	-3,969tn		
T1P0 vs T1P1	3,036tn	-2,864tn		
T1P1 vs T0P1	4,716*	-1,928tn		
<i>Sample Akhir (setelah panen)</i>				
T0P0 vs T0P1	6,447*	-2,926tn	4,303	9,925
T1P0 vs T0P0	3,617tn	24,525**		
T1P1 vs T0P0	1,502tn	8,506*		
T1P0 vs T0P1	17,014**	-0,827tn		
T1P0 vs T1P1	2,828tn	8,011*		
T1P1 vs T0P1	13,193**	-1,7120tn		

Keterangan: T0P0 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T0P1 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T1P0 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T1P1 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T0P0 akhir (Olah Tanah Minimum + Tanpa Pupuk), T0P1 akhir (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹), T1P0 akhir (Olah Tanah Intensif + Tanpa Pupuk), T1P1 akhir (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹). Uji *student-t* dilakukan untuk membandingkan antar $X_{\max}$ (jerapan maksimum P) dan K_L (energi ikatan relatif) pada setiap perlakuan. **= sangat nyata pada uji *student-t* 5% dan 1%, *= nyata pada uji *student-t* 5%, dan tn= tidak nyata pada uji *student-t* 5% dan 1%.

Tabel 3. Ringkasan analisis ragam pengaruh olah tanah dan pemupukan terhadap P-terpanen tanaman edamame akhir (setelah panen)

Perlakuan	P Terpanen (kg.ha ⁻¹)			Total
	Brangkasan	Polong	Biji	
T0P0	7,05	3,37	1,12	11,54
T0P1	11,88	4,30	1,74	17,92
T1P0	7,97	3,69	1,14	12,80
T1P1	13,12	4,11	1,70	18,93
Sumber Keragaman	F Hitung dan Signifikasi			
T	1,79tn	0,016tn	0,0002tn	0,65tn
P	38,34**	1,71tn	2,28tn	19,45**
T x P	0,04tn	0,25tn	0,007tn	0,01tn

Keterangan : T0P0 (Olah Tanah Minimum + Tanpa Pupuk), T0P1 (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹), T1P0 (Olah Tanah Intensif + Tanpa Pupuk), T1P1 (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹). tn=tidak berbeda nyata pada taraf 5%; *=berbeda nyata pada taraf 5%; kolom yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT 5%.

Hasil uji BNT pada Tabel 4 menunjukkan P-terpanen brangkasan dan P-terpanen total tanaman edamame pada perlakuan pemupukan (NPK majemuk 200 kg ha⁻¹ dan 1000 kg ha⁻¹ pupuk kandang ayam) lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa pemupukan. Dalam penelitian yang dilakukan La Habi *et al.* (2018), menyatakan bahwa penggunaan pupuk anorganik secara tunggal atau diaplikasikan bersamaan dengan pupuk organik mampu meningkatkan P-terpanen tanaman seiring meningkatnya P-tersedia dalam tanah. Serta, penambahan bahan organik pada lahan pertanaman mampu meningkatkan kegemburan tanah dan daya tanah untuk menahan air pada tanah meningkat, sehingga dapat membantu proses terjadinya difusi ion P dalam tanah menuju permukaan akar tanaman.

Peningkatan kandungan P-tersedia dalam tanah serta jangkauan akar yang lebih luas, akan meningkatkan potensi terjadinya difusi antara akar tanaman dan hara P dalam tanah sehingga P-terpanen meningkat. Menurut Supriyadi *et al.* (2014), tanaman yang berada dalam masa generatif membutuhkan P-terpanen yang tinggi untuk didistribusikan ke bagian generatif tanaman. Tingginya jumlah unsur hara P-terpanen tergantung dari jumlah unsur P yang tersedia dalam larutan tanah dan perakaran.

3.4 Pengaruh olah Tanah dan Pemupukan terhadap Biomassa Tanaman

Berdasarkan Tabel 6, perlakuan olah tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap berat kering tanaman edamame. Sebaliknya, perlakuan pemupukan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap berat kering brangkasan maupun berat kering total tanaman yang meliputi brangkasan, polong, dan biji. Interaksi antara perlakuan olah tanah dan pemupukan juga tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa tanaman edamame.

Tabel 4. Pengaruh olah tanah dan pemupukan terhadap P-terpanen brangkasan dan total tanaman edamame akhir (setelah panen)

Perlakuan	P Terpanen (kg.ha ⁻¹)	
	Brangkasan	Total
P0 (Tanpa Pupuk)	7,51a	12,17a
P1 (Pemupukan)	12,50b	18,24b
BNT 5%	2,58	4,54

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji BNT taraf 5%.

Tabel 1. Ringkasan analisis ragam pengaruh olah tanah dan pemupukan terhadap berat kering tanaman edamame akhir (setelah panen)

Perlakuan	Berat Kering (Mg.ha ⁻¹)			Total
	Brangkasan	Polong	Biji	
T0P0	1,59	0,80	0,23	2,62
T0P1	2,45	0,94	0,31	3,70
T1P0	1,90	0,93	0,25	3,07
T1P1	3,09	0,95	0,33	4,37
Sumber Keragaman	F Hitung dan Signifikasi			
T	4,77tn	0,34tn	0,102tn	1,85tn
P	36,65**	0,43tn	1,345tn	11,71**
T x P	0,01tn	0,24tn	0,003tn	0,12tn

Keterangan : T0P0 (Olah Tanah Minimum + Tanpa Pupuk), T0P1 (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹), T1P0 (Olah Tanah Intensif + Tanpa Pupuk), T1P1 (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹). tn=tidak berbeda nyata pada taraf 5%; *=berbeda nyata pada taraf 5%; kolom yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT 5%.

Data pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa tanaman yang memperoleh perlakuan pemupukan memiliki berat kering yang lebih tinggi dibandingkan tanaman tanpa pemupukan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Pramesti (2023) yang melaporkan bahwa pemberian pupuk mampu meningkatkan akumulasi biomassa tanaman melalui pemenuhan kebutuhan unsur hara, sehingga proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman berlangsung lebih optimal (Suryono dan Suryadi, 2015). Selain itu, penggunaan pupuk kandang ayam turut menyediakan unsur hara makro dan mikro yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Yulianto *et al.*, 2021).

3.5 Sifat Kimia Tanah Ultisol Gedung Meneng

Hasil analisis karakteristik kimia Ultisol Gedung Meneng sebelum penanaman dan setelah panen yang tersaji pada Tabel 8 menunjukkan bahwa reaksi tanah berada pada kisaran agak masam sampai netral. Kandungan -tersedia dan P-potensial termasuk dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi. Sementara itu, kadar karbon organik tanah tergolong sedang sampai tinggi, sedangkan nilai kapasitas tukar kation (KTK) berada pada kategori rendah.

Tabel 2. Pengaruh pemupukan terhadap berat kering brangkasan dan total tanaman edamame akhir (setelah panen)

Perlakuan	Berat Kering (Mg.ha ⁻¹)	
	Brangkasan	Total
P0 (Tanpa Pupuk)	1,74a	2,85a
P1 (Pemupukan)	2,50b	3,76b
BNT 5%	0,40	0,86

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji BNT taraf 5%.

Tabel 3. Hasil analisis sifat kimia tanah

Jenis Analisis		Perlakuan							
		T0P0		T0P1		T1P0		T1P1	
pH (H ₂ O)	Awal	6,34	AM	6,61	N	6,43	AM	6,84	N
	Akhir	6,55	AM	6,68	N	6,54	AM	6,86	N
pH (KCl)	Awal	6,06	-	6,01	-	5,89	-	6,17	-
	Akhir	4,89	-	4,77	-	4,93	-	4,84	-
P-Tersedia (mg kg ⁻¹)	Awal	33,10	T	45,52	ST	26,92	T	31,32	T
	Akhir	36,86	ST	53,10	ST	29,58	T	33,11	T
P-Potensial (mg kg ⁻¹)	Awal	85,36	ST	100,4	ST	70,34	ST	87,63	ST
	Akhir	89,93	ST	112,7	ST	71,08	ST	92,64	ST
C-Organik (%)	Awal	2,55	S	3,32	T	2,47	S	2,58	S
	Akhir	2,71	S	3,65	T	2,43	S	2,76	S
KTK (cmol kg ⁻¹)	Awal	14,50	R	15,50	R	14,75	R	16,50	R
	Akhir	14,57	R	16,87	R	14,07	R	16,53	R

Keterangan: T0P0 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T0P1 awal (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T1P0 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 175 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 75 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 2,5 Mg ha⁻¹), T1P1 awal (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 350 kg ha⁻¹ + Pupuk Urea 150 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 5 Mg ha⁻¹), T0P0 akhir (Olah Tanah Minimum + Tanpa Pupuk), T0P1 akhir (Olah Tanah Minimum + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹), T1P0 akhir (Olah Tanah Intensif + Tanpa Pupuk), T1P1 akhir (Olah Tanah Intensif + Pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ + Pupuk Kandang Ayam 1000 kg ha⁻¹). Angka yang diikuti huruf menyatakan ST= sangat tinggi; T=tinggi; S=sedang; R=rendah; SR=sangat rendah; M=masam; AM=agak masam; N=netral; AA=agak alkalis.

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui, bahwa pada perlakuan T0P1 dan T1P1 pH tanah tergolong netral, dan nilai P-tersedia dan P-potensial yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan T0P0 dan T1P0. Hal tersebut menandakan pada perlakuan T0P0 dan T1P0 memiliki ion H^+ lebih tinggi dibandingkan T0P1 dan T1P1. Hal ini diduga karena adanya pupuk kandang ayam yang berperan sebagai bahan organik yang dapat menurunkan tingkat kemasaman tanah.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Walida *et al.* (2020), bahwa pengaplikasian pupuk kandang ayam dapat meningkatkan kualitas sifat kimia tanah seperti pH tanah yang meningkat. Tingginya nilai pH dapat menyebabkan koloid tanah tersebut didominasi muatan negatif. Semakin tingginya nilai pH pada tanah, maka semakin meningkatkan muatan negatif yang mendominasi tanah. Muatan negatif tersebut dapat membentuk ikatan kompleks dengan ion Al dan Fe, sehingga jerapan P oleh koloid tanah Al dan Fe oksida menurun dan P-tersedia meningkat (Aini *et al.*, 2022).

Nilai C organik pada tanah Ultisol Gedung Meneng tergolong tinggi pada perlakuan T0P1, baik sebelum tanam maupun setelah panen. Adanya kegiatan olah tanah minimum dan pemupukan mampu mempengaruhi kandungan C organik pada tanah untuk meningkat. Pada olah tanah minimum terdapat mulsa yang menurunkan resiko terjadinya erosi dan hilangnya lapisan bahan organik pada tanah (Daksina *et al.*, 2021). Sedangkan, pemupukan dengan pupuk kandang ayam menambahkan bahan organik pada tanah sehingga C organik meningkat (Abel *et al.*, 2021). Selain itu, pengaplikasian bahan organik mampu memberikan peningkatan muatan negatif tanah sehingga KTK tanah juga meningkat (Lestari *et al.*, 2022).

3.6 Uji Korelasi Jerapan Maksimum P (X_{max}) dan Energi Ikatan Relatif P (KL) dengan P-terpanen, P-potensial, C-organik, dan KTK

Hasil uji kolerasi pada Tabel 9 bahwa jerapan P maksimum (X_{max}) sebelum tanam sangat nyata berkolerasi negatif terhadap P-tersedia, P-potensial, dan nyata berkolerasi negatif terhadap C-organik. Sedangkan, pada Tabel 10 diketahui bahwa jerapan P maksimum (X_{max}) setelah panen sangat nyata berkolerasi negatif terhadap P-tersedia, P-potensial dan C-organik. Hal tersebut menandakan bahwa semakin tinggi nilai X_{max} , maka semakin rendah nilai P-tersedia, P-potensial dan C-organik.

Tabel 4. Uji korelasi antara X_{max} dengan KL tanah sebelum tanam

Uji korelasi	Persamaan	r	
X_{max} vs P Tersedia	$y = -0,0495x + 58,085$	-0,96	**
X_{max} vs P Terpanen Brangkasan	$y = -0,032 + 51,044$	-0,62	tn
X_{max} vs P Terpanen Klobot	$y = -0,053x + 9,4095$	-0,84	tn
X_{max} x vs P Terpanen Biji	$y = -0,039x + 60,981$	-0,79	tn
X_{max} vs P Terpanen Tongkol	$y = -0,007x + 12,056$	-0,76	tn
X_{max} vs P Potensial	$y = -0,0779x + 123,48$	-0,98	**
X_{max} vs C Organik	$y = -0,002227x + 3,82555$	-0,89	*
X_{max} vs KTK	$y = -0,00157x + 16,06942$	-0,27	tn
K_L vs P Tersedia	$y = -58,278x + 39,183$	-0,64	tn
K_L vs P Terpanen Brangkasan	$y = -35,789x + 38,566$	-0,39	tn
K_L vs P Terpanen Klobot	$y = -7,496 + 7,4776$	-0,67	tn
K_L vs P Terpanen Biji	$y = 2,3096x + 1,6644$	0,45	tn
K_L vs P Terpanen Tongkol	$y = -9,2565x + 9,5962$	-0,59	tn
K_L vs P Potensial	$y = -122,53x + 96,374$	-0,88	*
K_L vs C Organik	$y = -2,2006x + 2,9189$	-0,49	tn
K_L vs KTK	$y = -5,2055x + 15,756$	-0,43	tn

Keterangan : X_{max} = jerapan maksimum; K_L = energi ikatan relatif fosfor. **= sangat nyata pada uji kolerasi, *= nyata pada uji kolerasi, dan tn= tidak nyata pada uji kolerasi.

Tabel 5. Uji korelasi antara $X_{\max}$ dengan K_L tanah setelah tanam

Uji korelasi	Persamaan	r	
$X_{\max}$ vs P Tersedia	$y = -0,0381x + 56,38$	-0,97	**
$X_{\max}$ vs P Terpanen Brangkasan	$y = -0,004x + 12,118$	-0,40	tn
$X_{\max}$ vs P Terpanen Polong	$y = -0,0008x + 4,2531$	-0,51	tn
$X_{\max}$ vs P Terpanen Biji	$y = -0,001x + 1,791$	-0,60	tn
$X_{\max}$ vs P-potensial	$y = -0,0625x + 121,45$	-0,97	**
$X_{\max}$ vs C Organik	$y = -0,00200x + 3,85430$	-0,98	**
$X_{\max}$ vs KTK	$y = -0,00374x + 17,29757$	-0,08	tn
K_L vs P Tersedia	$y = -7,3924x + 41,087$	-0,34	tn
K_L vs P Terpanen Brangkasan	$y = 4,472x + 8,237$	0,73	tn
K_L vs P Terpanen Polong	$y = 0,3874x + 3,715$	0,45	tn
K_L vs P Terpanen Biji	$y = 0,392x + 1,269$	0,56	tn
K_L vs P Potensial	$y = -0,3872x + 91,739$	-0,011	tn
K_L vs C Organik	$y = -0,44x + 3,0697$	-0,39	tn
K_L vs KTK	$y = 1,3861x + 14,96$	0,05	tn

Keterangan : $X_{\max}$ = jerapan maksimum; K_L = energi ikatan relatif fosfor. **= sangat nyata pada uji kolerasi, *= nyata pada uji kolerasi, dan tn= tidak nyata pada uji kolerasi.

Hal tersebut sesuai hasil penelitian Lumbanraja *et al.* (2018), bahwa nilai $X_{\max}$ dapat mempengaruhi nilai P-tersedia dan P-potensial, sehingga tingginya nilai $X_{\max}$ dapat menurunkan P-tersedia dan P-potensial. Ketersediaan P dalam tanah dipengaruhi oleh jumlah kation pada koloid tanah. Pada tanah Ultisol tingginya jumlah kation disebabkan karena tingkat kejenuhan Al dan Fe yang tinggi. Selain itu, pada Tabel 9 diketahui bahwa nilai energi ikatan relatif P (K_L) sebelum tanam nyata berkorelasi negatif dengan P-potensial. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh Lumbanraja *et al.* (2018), bahwa energi ikatan relatif P (K_L) memiliki hubungan negatif terhadap kandungan P-potensial.

4. KESIMPULAN

Perlakuan olah tanah minimum mampu menurunkan jerapan fosfor dibandingkan olah tanah intensif, namun kedua perlakuan tersebut tidak berpengaruh terhadap fosfor terpanen tanaman edamame di tanah Ultisol Gedung Meneng. Sedangkan, perlakuan pemupukan mampu menurunkan jerapan fosfor dan berpengaruh terhadap fosfor terpanen brangkasan tanaman edamame. Selain itu, kombinasi olah tanah minimum dengan pemberian pupuk (NPK majemuk 200 kg ha⁻¹ dan pupuk kandang ayam 1000 kg ha⁻¹) merupakan perlakuan yang paling efektif dalam mempengaruhi penurunan nilai jerapan fosfor di tanah Ultisol Gedung Meneng. Meskipun demikian, jerapan maksimum fosfor pada tanah setelah panen tidak menunjukkan korelasi yang nyata terhadap fosfor terpanen tanaman edamame.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dosen pembimbing yaitu ibu Septi Nurul Aini, S.P., M.Si., ibu Nur Afni Afrianti, S.P., M.Si. dan dosen pembahas yaitu ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc atas bimbingan, kritik, dan saran kepada penulis.

6. DAFTAR PUSTAKA

Abel, G., R. Suntari, dan A. Citraresmini. 2021. Pengaruh biochar sekam padi dan kompos terhadap C-organik, N-total, C/N tanah, serapan N, dan pertumbuhan tanaman jagung di ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 8(2): 451-460.

- Aini, S.N., R. Setiawan, J. Lumbanraja, Sarno, dan L.M. Septiana. 2022. Produksi, hara N dan P terangkut akibat aplikasi berbagai jenis biochar dan pupuk P pada pertanaman jagung manis (*Zea mays saccharata sturt.*) di tanah Ultisol Natar Lampung Selatan. *Journal of Tropical Upland Resources*. 4(1): 18-39.
- Aini, S.N., D.M. Sari, A.R. Setiawati, A.K. Salam, & J. Lumbanraja. 2025. Phosphorus adsorption at different altitudes and soil depths in Mt. Anak Krakatau before the December 2018 eruption: Analysis using the Langmuir isothermic model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1482(1): 1-11.
- Aini, S.N., W. Yanti, A.R. Setiawati, D. Prasetyo, dan J. Lumbanraja. 2022. The behavior of phosphorus adsorption on soil in the geological formation of ranau tuff using the langmuir isothermic model to support food security. *In AIP Conference Proceedings*. 2563(1): 1-10.
- Asnandi, M., F.H. Yusran, dan M. Syarbini. 2023. Jerapan isothermal fosfat pada tanah ultisol. *Acta Solum*. 1(2): 85-89.
- Banjarnahor, S.M. 2022. Manfaat mulsa organik serasah daun bambu untuk menghambat pertumbuhan gulma pada tanaman bawang prei (*Allium Porrum*). *Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Teknologi*. 2(2): 178-182.
- Daksina, B.F., A.M. Makalew, dan B.F. Langai. 2021. Evaluasi kesuburan tanah ultisol pada pertanaman karet di Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. *Agroekotek view*. 4(1): 60-71.
- Dewi, P.A., M. Mulyati, dan S. Suwardji. 2024. Management strategies for maize cultivation in drylands through soil tillage techniques and fertilizer efficiency. *Jurnal Biologi Tropis*. 24(2): 134-144.
- Fahmi, N., S. Syamsuddin, dan A. Marliah. 2014. Pengaruh pupuk organik dan anorganik terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merril). *Jurnal Floratek*. 9(2): 53-62.
- Kusumastuti, A., A. Fatahillah, Wijaya, dan Y. Sukmawan. 2018. Pengaruh olah tanah dan residu N tahun ke 29 pada beberapa sifat kimia tanah dengan tanaman indikator leguminosa. *Journal of Applied Agricultural Science*. 2(1): 2-29.
- La Habi, M., J.I. Nendissa, D. Marasabessy, dan A.M. Kalay. 2018. Ketersediaan fosfat, serapan fosfat, dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) akibat pemberian kompos granul ela sagu dengan pupuk fosfat pada inceptisols. *Agrologia*. 7(1): 42-52.
- Lestari, R.A., F. Budiarsyah, dan R. Manurung. 2022. Status kesuburan tanah sawah pasang surut di Desa Pasir Kecamatan Mempawah Hilir Kabupaten Mempawah. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*. 11(1): 1-10.
- Lumbanraja, J., C.P. Satgata, Sarno, M. Utomo, R. Hasibuan, Dermiyati, and S. Triyono. 2018. Phosphorus (P) adsorption behavior and harvested p by the sugarcane (*Saccharum Officinarum* L.) affected by inorganic and organic fertilizer application on an ultisol. *Journal Trop Soils*. 23(1): 35-45.
- Marcano, M. E., and Mc Bride. 1989. Comparison of the titration and ion adsorption methods for surface charge measurements in oxisols. *Soil Science Journal*. 53(4): 1040-1045.
- Marlina, N., G. Gusmiatun, dan D. Marlina. 2021. Peningkatan hasil jagung manis di lahan kering masam melalui aplikasi pupuk organik dan pengaturan olah tanah. *In Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. Palembang, 20 Oktober 2021. pp. 490-497.
- Pramesti, D.A. 2023. Perilaku jerapan amonium dan nitrogen terpanen pada pertanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) akibat olah tanah dan pemupukan di tanah ultisol gedung meneng pada musim tanam ke 8. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 124 hlm.
- Rashmi, I., A.K. Biswas, V.R.R. Parama, and A.S. Rao. 2015. Phosphorus sorption characteristics of some representative soils of South India. *SAARC Journal of Agriculture*. 13(1):14-26.
- Rizki, F.C., P.R. Wicaksono, dan F. Wijayanti. 2024. Peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas sebagai hasil pengolahan lahan di Dusun Ngadilegi, Pandaan. *Jurnal Informasi Pengabdian Masyarakat*. 2(1): 1-9.

- Salawati, S., S. Ende, dan L. Lukman. 2022. Changes of some chemical properties of soil after rice production the impact of giving cow manure. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan*. 20(2): 497-509.
- Simamora, D., A. Niswati, S. Yusnaini, dan M. Utomo. 2015. Pengaruh sistem olah tanah dan aplikasi mulsa bagas terhadap respirasi tanah pada lahan pertanaman tebu (*Saccharum Officinarum* L.) akhir ratoon kedua dan awal ratoon ketiga. *Jurnal Agrotek Tropika*. 3(1): 160-164.
- Su, C., and J.B. Harsh. 1996. Alteration of imogolite, allophane, and acidic soil clays by chemical extractants. *Soil Science Society of America Journal*. 60(1): 77-85.
- Supriyadi, S., S. Hartati, dan A. Aminudin. 2014. Kajian pemberian pupuk P, pupuk mikro dan pupuk organik terhadap P terpanen dan hasil kedelai (*Glycine max* L.) varietas kaba di inseptisol Gunung Gajah Klaten. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*. 29(2): 81-86.
- Suryono, S., dan S. Sudadi. 2015. Efek dari kombinasi pupuk N, P dan K terhadap pertumbuhan dan hasil kacang tanah pada lahan kering alfisol. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*. 17(2): 49-52.
- Sularno, S., S. Sudirman, D. Putri, dan Y.A. Wulandari. 2022. Respon pertumbuhan dan produksi kedelai edamame terhadap pemberian limbah las karbit. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*. 7(2): 109-114.
- Suwardike, P., P.S. Prabawa, dan G. Widyasaputra. 2020. Keragaan pertumbuhan dan hasil edamame (*Glycine max* (L.) Merr.), serta kesuburan tanah pada berbagai dosis pupuk kandang dan legume inoculum. *Jurnal Buana Sains*. 24(2): 47-56.
- Syamsiyah, J., G. Herdiyansyah, S. Hartati, Suntoro, H. Widijanto, I. Larasati, dan N. Aisyah. 2023. Pengaruh substitusi pupuk kimia dengan pupuk organik terhadap sifat kimia dan produktivitas jagung di Alfisol Jumantono. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 10(1): 57-64.
- Tan, K.H. 2008. *Soils in the Humid Tropics and Monsoon Region of Indonesia*. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, New York. 113 hlm.
- Utomo, M., H. Buchari, dan I.S. Banuwa. 2012. *Olah Tanah Konservasi: Teknologi Mitigasi Gas Rumah Kaca Pertanian Tanaman Pangan*. Lembaga Penelitian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 94 hlm.
- Yulianto, S., Y.Y. Bolly, dan J. Jeksen. 2021. Pengaruh pemberian pupuk kandang ayam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman mentimun (*Cucumis sativus* L.) di Kabupaten Sikka. *Jurnal Inovasi Penelitian*. 1(10): 2165-2170.
- Yuriansyah, Y., L. Erfa, dan E.Y.S. Sari. 2023. Optimasi produksi tanaman kedelai edamame (*Glicine Max* (L.) Merrill) dengan pengaturan jarak tanam dan pemberian kompos. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 23(2): 282-287.