

Pengaruh Amelioran terhadap Jerapan Isotermal Fosfat di Tanah Mineral Masam

Maulida*, Fadly Hairannoor Yusran, Ismed Fachruzi, Zuraida Titin Mariana

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

* Email penulis korespondensi: 1810513120003@ulm.ac.id

Informasi Artikel

Received 24 Agustus 2024

Accepted 15 Juli 2025

Published 20 Juli 2025

Online 20 Juli 2025

Keywords:

Chicken manure; Dolomite;
Isothermal adsorption;
Phosphate; Ultisol

Abstract

The acidic pH of Ultisol leads to low phosphorus (P) availability due to the strong fixation of phosphate by positively charged aluminum (Al) and iron (Fe) ions, making P less accessible for plant uptake. This study aimed to evaluate the effect of two ameliorants—dolomite and chicken manure—on the isothermal adsorption behavior of phosphate in Ultisol. Soil samples were collected from Gunung Kupang Village, Cempaka District, Banjarbaru City, South Kalimantan. The adsorption of P was analyzed using Langmuir, Freundlich, and Brunauer-Emmett-Teller (BET) isotherm models. Treatments were applied to evaluate the sorption capacity and determine the most suitable model for describing phosphate behavior in treated and untreated Ultisol. The results showed that phosphate adsorption data fitted best with the Freundlich model ($R^2 > 0.93$), indicating heterogeneous adsorption surfaces in Ultisol and a complex P interaction mechanism. The addition of ameliorants was effective in reducing P fixation by modifying soil chemical properties—dolomite raised soil pH and reduced Al toxicity, while chicken manure improved nutrient content and microbial activity. These improvements led to lower phosphate adsorption, enhancing P availability. Thus, proper amelioration is crucial to optimize phosphorus efficiency in acid mineral soils, supporting sustainable and productive agricultural practices on Ultisols.

1. Pendahuluan

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang sangat luas tersebar di Indonesia, meliputi sekitar 45.794.000 hektar atau sekitar 25% dari total daratan (Rahmad *et al.*, 2025). Sebaran terbesarnya terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha), diikuti oleh Sumatera (9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Tanah ini banyak dijumpai di berbagai wilayah seperti Kalimantan, Sumatera, Maluku, Papua, Sulawesi, Jawa, dan Nusa Tenggara, dengan kondisi morfologi yang bervariasi mulai dari dataran rendah hingga pegunungan (Pratamaningsih *et al.*, 2024). Meskipun luas arealnya besar dan berpotensi untuk pengembangan pertanian, Ultisol memiliki kendala utama berupa tingkat kesuburan yang rendah, terutama terkait dengan ketersediaan fosfor (P) bagi tanaman.

Kandungan P-tersedia yang rendah pada tanah Ultisol disebabkan oleh tingginya aktivitas fiksasi fosfat oleh ion aluminium (Al) dan besi (Fe) yang dominan pada kondisi tanah masam (Olego *et al.*, 2022). Fiksasi ini menyebabkan pupuk fosfat yang diberikan menjadi tidak tersedia bagi tanaman sehingga efisiensi pemupukan menjadi rendah. Upaya untuk meningkatkan ketersediaan P pada tanah masam umumnya dilakukan melalui penambahan amelioran seperti kapur dolomit dan bahan organik. Kapur dolomit berperan dalam meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi ion H^+ dan Al^{3+} . Bahan organik, seperti pupuk kandang, dapat meningkatkan kandungan hara tanah, memperbaiki struktur tanah, serta mendukung aktivitas mikroorganisme (Djazuli dan Pitono, 2020).

Meskipun telah banyak dilakukan penelitian mengenai pengaruh amelioran terhadap perbaikan sifat kimia tanah masam, kajian yang secara spesifik mengamati perubahan karakteristik jerapan fosfat di tanah Ultisol setelah aplikasi amelioran masih terbatas. Pemahaman terhadap dinamika jerapan P sangat penting, karena fosfat merupakan hara esensial yang mobilitasnya rendah dan sangat dipengaruhi oleh interaksi dengan partikel tanah. Model isotermal seperti Langmuir, Freundlich, dan Brunauer-Emmet-Teller (BET) dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku jerapan fosfat pada tanah dan memprediksi kapasitas maksimum tanah dalam mengikat fosfat.

Namun demikian, hingga saat ini masih terdapat gap dalam literatur terkait bagaimana dua jenis amelioran, yaitu kapur dolomit dan pupuk kandang sapi dalam mempengaruhi pola jerapan isothermal fosfat pada tanah Ultisol secara simultan dan komparatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan kedua amelioran tersebut terhadap jerapan isothermal fosfat dengan menggunakan pendekatan model Langmuir, Freundlich, dan BET, guna memperkaya pemahaman tentang dinamika P pada tanah mineral masam dan mendukung strategi pemupukan yang lebih efisien.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel tanah dilakukan di Desa Gunung Kupang, Kecamatan Cempaka, Provinsi Kalimantan Selatan, yang tergolong sebagai tanah Podsolik dengan titik sampling 03°30.542' LS, 114°51.836' BT. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. Penelitian ini dilaksanakan dari November 2023 sampai Januari 2024.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Pengambilan sampel tanah menggunakan metode *purposive sampling* (penentuan titik sampel), dilakukan di tiga titik secara zig-zag dengan jarak 5 m dan dikomposisikan untuk mendapatkan berat 1 kg pada kedalaman 0-30 cm untuk tanah inkubasi. Uji kesetimbangan fosfor dikerjakan di Laboratorium setelah contoh tanah dibiarkan kering, kemudian disaring menggunakan saringan 2 mm. Persiapan amelioran dengan cara kapur ditumbuk dan diayak, kemudian ditimbang sesuai dengan perhitungan dosis 3 t ha⁻¹. Pupuk kandang ayam dikering udarkan selama lima hari, kemudian ditimbang sesuai dengan perhitungan dosis 2 t ha⁻¹.

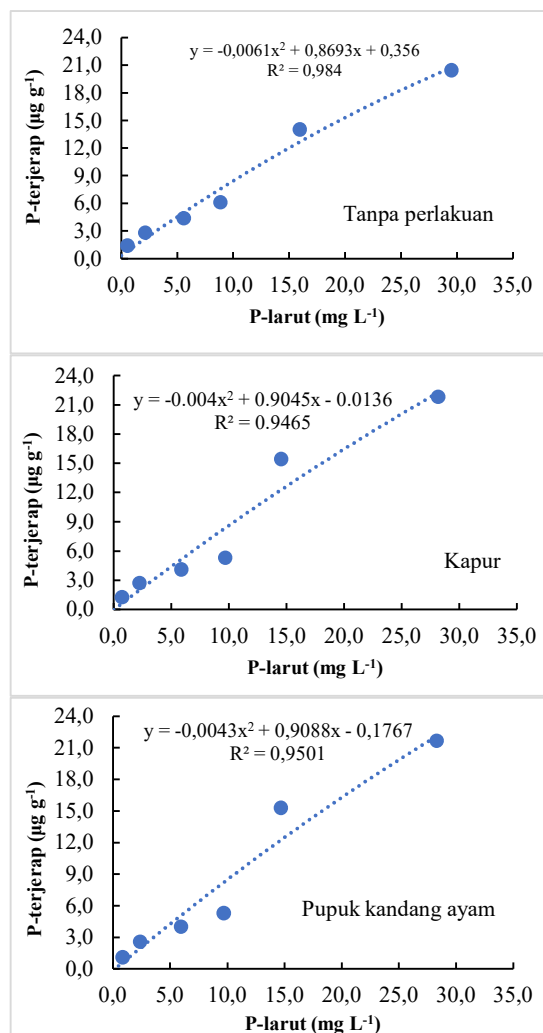
Sampel tanah dikomposisikan terlebih dahulu lalu ditimbang masing-masing seberat 100 gram dimasukkan ke dalam pot percobaan. Masing-masing pot percobaan diberikan amelioran sesuai dengan dosis yang telah ditentukan kemudian aduk rata antara pupuk dengan tanah agar tercampur. Tanah diinkubasi selama 4 minggu, kemudian setiap satu minggu dilakukan penyiraman untuk menjaga kelembaban tanah sebanyak 530 ml air.

Jerapan isothermal P diukur menggunakan enam konsentrasi fosfor yang berbeda (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg P kg⁻¹) ditambahkan ke dalam larutan stok fosfor 1000 ppm P dengan melarutkan 4,3937 g KH₂PO₄ di dalam 1 L 0,01 M CaCl₂. Gelas plastik 100 mL dengan tutup rapat digunakan untuk setiap 1 g tanah sampel. Konsentrasi ini telah ditetapkan dalam percobaan awal untuk memeriksa kisaran konsentrasi yang sesuai, mengingat kapasitas penyerapan P yang tinggi dari tanah sampel. Ulangan dilakukan untuk mendapatkan nilai tengah yang lebih akurat. Suspensi (tanah + KH₂PO₄ + 0,01 M CaCl₂) dikocok pada suhu 25 °C selama 17 jam. Supernatan disaring dengan kertas saring (Whatman #42) untuk analisis P. P yang tersisa dalam larutan setelah proses kesetimbangan diukur menggunakan metode BET, yaitu persamaan adsorpsi yang dapat menjelaskan isotherm sigmoidal, seperti yang diamati pada beberapa data dari percobaan ini (Yusran, 2018).

3. Hasil dan Pembahasan

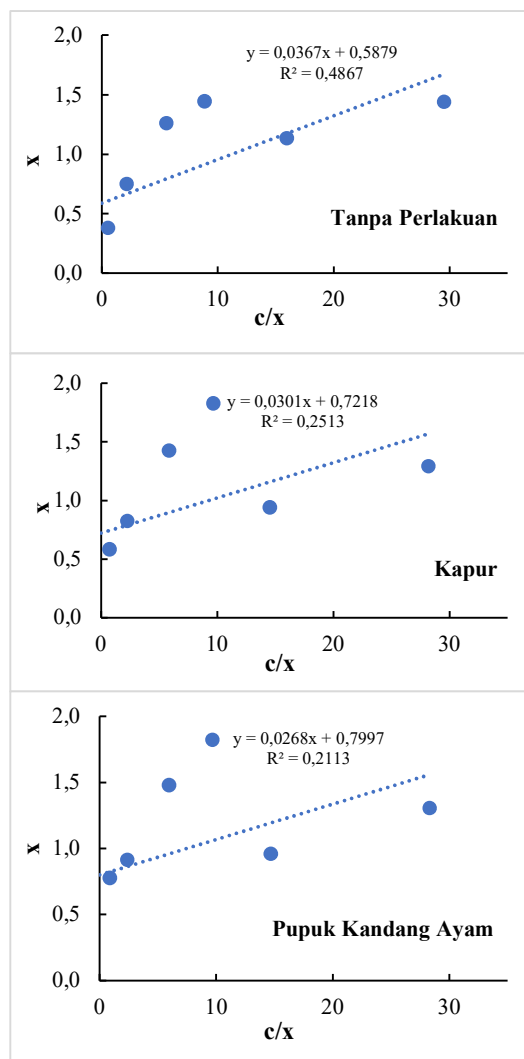
3.1. Jerapan Isothermal Fosfat

Pengaruh ditamapkannya KH₂PO₄ terhadap adsorpsi fosfat di tanah Ultisol diamati menggunakan model Langmuir, Freundlich, dan BET dengan variasi konsentrasi penambahan stok ppm P (0, 2, 5, 10, 15, 30, 50 mg P kg⁻¹). Gambar 1 menampilkan statistik tentang perubahan jerapan isothermal P hingga mencapai titik maksimal. Grafik 1 menunjukkan bahwa perbedaan jerapan fosfat (P) pada tanah Podsolik dengan tiga perlakuan: tanpa perlakuan, kapur dolomit, dan pupuk kandang ayam. Tanpa perlakuan, tanah menunjukkan jerapan P yang tinggi karena masih banyak ion Al dan Fe aktif yang mengikat fosfat, tercermin dari kurva yang curam dan nilai R² tertinggi (0,984). Penambahan kapur dolomit menurunkan jerapan P karena peningkatan pH mengurangi fiksasi fosfat oleh Al dan Fe, sehingga P lebih tersedia di larutan tanah. Perlakuan pupuk kandang ayam menunjukkan pola serupa, namun dengan kontribusi bahan organik yang menekan fiksasi P dan memperbaiki ketersediaan hara. Kedua amelioran ini efektif mengurangi jerapan P berlebih pada tanah masam, dengan nilai R² tetap tinggi yang menunjukkan kecocokan model.



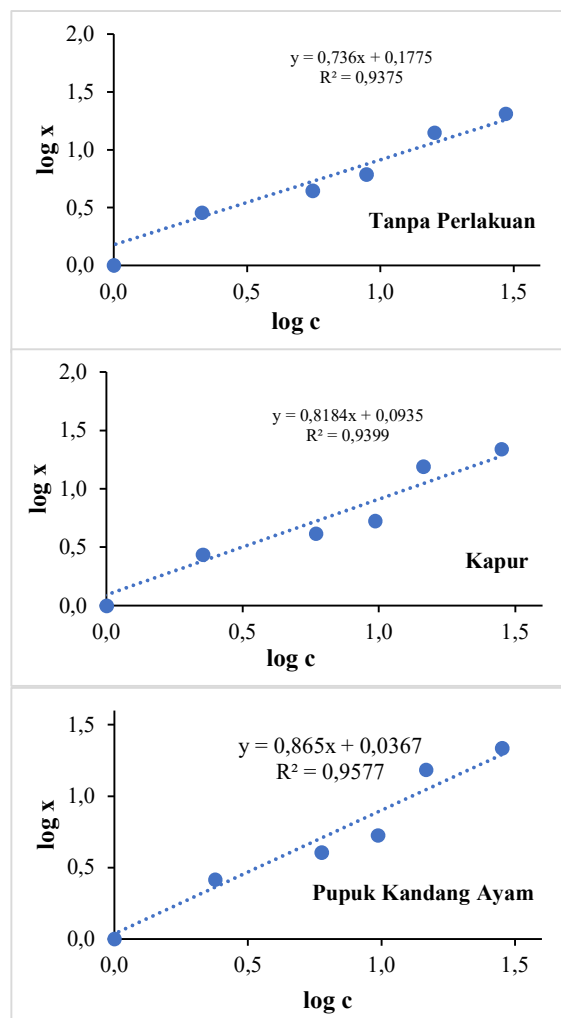
Gambar 1. Kinetika Jerapan Fosfat pada Tanah Ultisol: Perbandingan antara Tanpa Perlakuan dan dengan Perlakuan Amelioran

Hasil pengamatan statistik terhadap peningkatan jerapan isothermal fosfor hingga batas maksimalnya dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan hubungan antara P-larut dan P-terjerap mengikuti pola logaritmik. Transformasi hubungan dari persamaan Langmuir, Freundlich, dan BET menghasilkan grafik garis tren dari hubungan antara c/x dan x , $\log c$ dan $\log x$, serta c/c_s dan $c/(c_s-c) \cdot 1/x$ untuk setiap perlakuan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2–4.



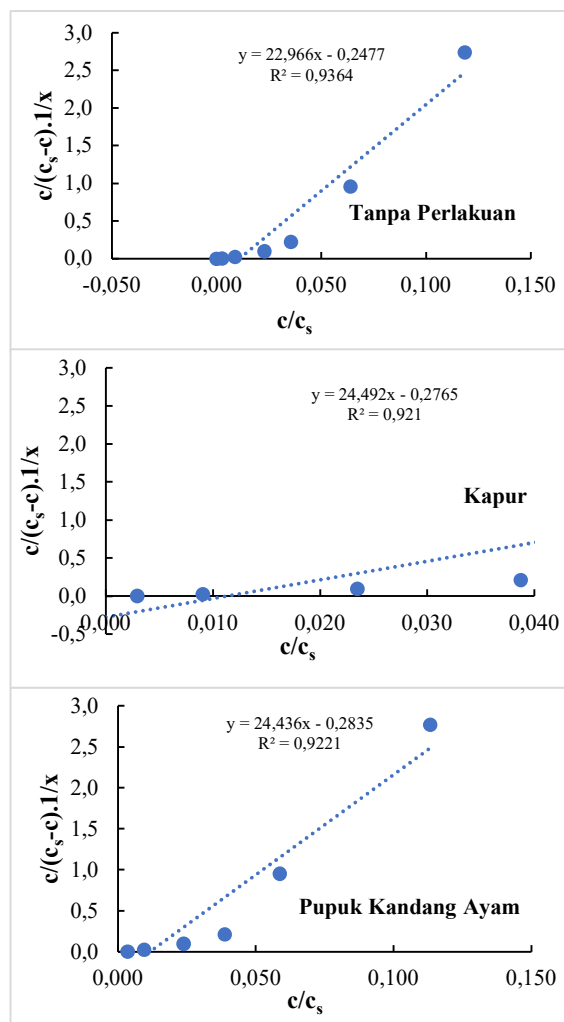
Gambar 2. Transformasi Hubungan antara c/x dengan x pada Model Isoterm Langmuir. c/x = Konsentrasi P dalam Larutan Kesetimbangan ($\mu\text{g P mL}^{-1}$), x = Kapasitas Maksimum Adsorpsi P ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah)

Menurut Ayawei *et al.* (2017), model isoterm Langmuir didasarkan pada tiga asumsi: pertama, homogenitas tapak permukaan yang mengakibatkan energi adsorpsi yang konstan; kedua, adsorpsi terjadi pada tapak tertentu tanpa adanya interaksi antar molekul atau ion yang terserap; ketiga, permukaan adsorben hanya dilapisi oleh satu lapisan molekul atau ion yang terserap, sehingga disebut sebagai adsorpsi *monolayer*.



Gambar 3. Transformasi Hubungan antara $\log c$ dengan $\log x$ pada Model Adsorpsi Freundlich. $\log c$ = Konsentrasi P dalam Larutan Kesetimbangan ($\mu\text{g P mL}^{-1}$), $\log x$ = Jumlah P yang Diserap ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah).

Berbeda dengan model Langmuir yang mengasumsikan permukaan adsorben homogen dengan kapasitas jerapan maksimum, persamaan Freundlich lebih fleksibel dan dapat digunakan untuk permukaan adsorben yang heterogen, dimana energi jerapan bervariasi (Gambar 3). Jika nilai R^2 untuk model ini tinggi, ini menunjukkan bahwa jerapan fosfat di tanah Ultisol lebih baik dijelaskan oleh model ini, yang berarti permukaan tanah Ultisol memiliki heterogenitas yang signifikan, serta model ini dapat menggambarkan sistem yang lebih kompleks.



Gambar 4. Transformasi Hubungan antara c/c_s dengan $c/(c_s - c).1/x$ pada persamaan jerapan isothermal BET: Studi Penjerapan Ion pada Tekanan Relatif

Secara teori, penurunan energi adsorpsi seiring dengan peningkatan luas permukaan penyerapan disebabkan oleh variasi keberagaman struktur permukaannya.. Menurut Shimizu dan Matubayasi (2022), prinsip metode persamaan BET adalah untuk memperkirakan jumlah zat yang teradsorpsi pada permukaan koloid tanah yang sedang dikarakterisasi. Nilai C dalam persamaan ini adalah konstanta yang secara signifikan tergantung pada energi yang teradsorpsi pada lapisan pertama, dan secara konsisten mencerminkan interaksi gaya tarik antara penyerap dan zat yang teradsorpsi (Asnandi *et al.*, 2023).

Tabel 1. Analisis Parameter Persamaan Langmuir, Freundlich Brunauer Emmet-Teller (BET) pada tanah Ultisol

Perlakuan	Langmuir			Freundlich			BET		
	x_m	K_L	R^2	b	K_F	R^2	x_m	K_{BET}	R^2
Kontrol	27,2479	0,0624	0,4867	0,736	1,5050	0,9375	0,05	-63,360	0,7871
Kapur	33,2225	0,0417	0,2513	0,8184	1,2402	0,9399	0,0413	-87,6	0,9210
Ayam	0,031	37,313	0,2113	0,865	1,0881	0,9577	0,0451	-78,140	0,9221
Rerata	20,1671	12,438	0,3164	1,8427	1,2778	1,4176	0,0454	-76,367	0,8767

Keterangan: X_m = adsorpsi maksimum ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah); K_L = koefisien energi ikat. K_F = Ukuran permukaan jerapan; b = kekuatan jerapan. X_m = Jerapan maksimum ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah); K_{BET} = Konstanta yang sebanding dengan perbedaan antara jerapan dalam lapisan pertama; R^2 = koefisien determinasi yang menggambarkan kekuatan persamaan regresi.

Sesuai dengan Tabel 1 diketahui bahwa tanah Ultisol tanpa perlakuan memiliki nilai R^2 untuk masing-masing model secara urut sebesar 0,4867, 0,9375, dan 0,7871. Setelah diberi perlakuan kapur, nilai R^2 untuk persamaan

0,2513, 0,9399, dan 0,9210. Sedangkan pada perlakuan dengan pupuk kandang ayam, 0,2113, 0,9577, dan 0,9221. Analisis menunjukkan bahwa model Freundlich paling sesuai dengan data jerapan P pada tanah Ultisol karena nilai R^2 -nya mendekati 1, mengindikasikan korelasi yang kuat. Chicco *et al.* (2021) menyatakan bahwa nilai koefisien dapat bervariasi antara 0 hingga 1, di mana nilai R^2 yang lebih tinggi mengindikasikan kekuatan penjelasan model yang lebih kuat. Dengan menerapkan model regresi yang sesuai, peneliti dapat mengasumsikan bahwa semakin tinggi nilai R^2 , semakin kuat penjelasan dari persamaan regresi, serta semakin baik prediksi yang bergantung pada variabelnya. (Asnandi *et al.*, 2023).

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1, penelitian ini menunjukkan peningkatan jerapan P dengan penambahan KH_2PO_4 pada konsentrasi 0,2, 5, 10, 15, 30, dan 50 mg P/kg tanah. Tanpa perlakuan, diketahui bahwa saat ditambahkan 50 ppm P pada 1 g sampel Ultisol, terdapat 29,60 ppm P larut dan 20,40 ppm P terjerap, sehingga sekitar 59% P larut dan 41% P terjerap oleh tanah tersebut. Pada tanah Ultisol dengan perlakuan kapur, terdapat 28,18 ppm P larut dan 21,82 ppm P terjerap pada penambahan yang sama, dengan persentase sekitar 56% P larut dan 44% P terjerap. Sedangkan pada penambahan amelioran pupuk kandang ayam, terdapat 28,32 ppm P larut dan 21,68 ppm P terjerap, dengan persentase sekitar 57% P larut dan 43% P terjerap.

Pada tanah Ultisol yang memiliki kesuburan rendah, kandungan fosfor (P) yang rendah disebabkan oleh proses penjerapan P, pH tanah yang rendah, serta keberadaan logam berat seperti Al dan Fe yang bersifat toksik. Berdasarkan hasil penelitian, meskipun peningkatan konsentrasi P dalam tanah meningkatkan jumlah P yang terjerap, peningkatan ini tidak signifikan seiring berjalannya waktu. Hal ini terjadi karena P terikat pada senyawa Al-P dan Fe-P di permukaan tanah hingga mencapai kesetimbangan. Tingkat penjerapan P yang tinggi menunjukkan bahwa ketersediaan P bagi tanaman rendah karena aktivitas fiksasi di tanah mineral yang bersifat asam mengurangi ketersediaan P yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Johan *et al.* (2021) menegaskan bahwa pH rendah dan tingginya kandungan oksida Al/Fe pada tanah asam berperan besar dalam jerapan P sehingga menurunkan efisiensi pemupukan P.

4. Kesimpulan

Karakteristik jerapan fosfat pada tanah Ultisol dipengaruhi secara signifikan oleh keberadaan amelioran seperti kapur dolomit dan pupuk kandang ayam. Tanpa perlakuan, tanah menunjukkan tingkat jerapan P yang tinggi karena masih banyaknya ion Al dan Fe aktif yang menyebabkan fiksasi fosfat. Penambahan kapur dolomit mampu menurunkan jerapan P melalui peningkatan pH tanah, yang menekan aktivitas ion Al dan Fe sehingga memperbesar ketersediaan fosfat dalam larutan tanah. Perlakuan dengan pupuk kandang ayam memberikan efek serupa, dengan tambahan kontribusi bahan organik yang memperbaiki struktur tanah dan mengurangi fiksasi P. Model isotherm Freundlich paling menggambarkan perilaku jerapan fosfat di tanah Ultisol dibandingkan model Langmuir dan BET, yang mengindikasikan bahwa permukaan tanah bersifat heterogen dengan energi jerapan yang bervariasi. Hal ini memperkuat temuan bahwa sistem penjerapan P di tanah Ultisol bersifat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor fisikokimia tanah. Secara keseluruhan, aplikasi amelioran seperti kapur dan pupuk kandang ayam efektif dalam mengurangi penjerapan P berlebih pada tanah masam, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan memperbaiki ketersediaan fosfor bagi tanaman. Strategi pengelolaan ini penting untuk memperbaiki kesuburan tanah Ultisol yang dikenal memiliki tingkat ketersediaan hara yang rendah akibat fiksasi P oleh logam tanah.

Daftar Pustaka

- Asnandi, M., Yusran, F.H., Syarbini, M. 2023. Jerapan isothermal fosfat pada tanah ultisol. Acta Solum 1(2), 85–89. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i2.1812>
- Ayawei, N., Ebelegi, A.N., Wankasi, D. 2017. Modelling and interpretation of adsorption isotherms. Journal of Chemistry 2017, 3039817. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Chicco, D., Warrens, M.J., Jurman, G. 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. PeerJ Computer Science 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Djazuli, M., Pitono, J. 2020. Pengaruh jenis dan taraf pupuk organik terhadap produksi dan mutu purwaceng. Jurnal Penelitian Tanaman Industri 15(1), 40-45. <https://doi.org/10.21082/jlitri.v15n1.2009.40-45>
- Johan, P.D., Ahmed, O.H., Omar, L., Hasbullah, N.A. 2021. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. Agronomy 11, 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>
- Olego, M.Á., Cuesta-Lasso, M.D., Visconti, R.F., López, R., López-Losada, A., Garzón-Jimeno, E. 2022. Laboratory extractions of soil phosphorus do not reflect the fact that liming increases rye phosphorus content and yield in an acidic soil. Plants 11, 2871. <https://doi.org/10.3390/plants111212871>
- Pratamaningsih, M.M., Hati, D.P., Erwinda, E., Muslim, R.Q., Hikmat, M., Purwanto, S. 2023. Soil characteristics and management of ultisols derived from claystones of Sumatra. Journal of Tropical Soils 29(3), 115–125. <https://doi.org/10.5400/jts.2024.v29i3.115-125>

- Rahmad, Zainal, A., Anwar, A. 2025. Identification and diversity of mycorrhizae in several rhizospheres of plant vegetation in ultisol land. *Juatika* 7(1), 71-76. <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.3802>
- Shimizu, S., dan Matubayasi, N. 2022. Surface area estimation: Replacing the Brunauer–Emmett–Teller model with the statistical thermodynamic fluctuation theory. *Langmuir* 38, 7989-8002. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c00753>
- Yusran, F.H. 2018. The relationship between phosphate adsorption and soil organic carbon from organic matter addition. *Journal of Tropical Soils* 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.5400/jts.2010.v15i1.1-10>