

ADSORPTION ISOTHERM DAN PRIMING EFFECT KETERSEDIAAN FOSFAT LAHAN SUB-OPTIMAL DENGAN PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK BARU

Fadly Hairannoor Yusran 1^a, Zuraida Titin Mariana 2^a

^aJurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat

Email korespondensi: fhyusran@ulm.ac.id

ABSTRAK

Tanah sub-optimal yang apabila dikelola dengan baik akan menjadi lahan pertanian yang produktif. Masalah yang sering timbul adalah reaksi tanah (pH) yang rendah atau sangat masam serta rendahnya kandungan bahan organik. Kedua sifat kimia ini biasanya menjadi penyebab kenapa tanah sub-optimal. Penelitian awal menunjukkan bahwa pemberian amelioran (arang bio, kapur, dan kompos) tidak berpengaruh lama. Setelah tanaman padi tumbuh kenaikan pH air tidak terukur lagi. Pemupukan P yang dilakukan pada jenis tanah ini sangat tidak efektif karena kelarutan Al dan Fe yang tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang sifat kimia yang menjadi penyebab kurangnya efektivitas pupuk P. Penelitian lanjutan bertujuan untuk melihat karakteristik alami jerapan pada tanah sawah bukaan baru terhadap kelarutan unsur hara makro P dengan menggunakan persamaan adsorption isotherm. Dengan persamaan tersebut (Langmuir, Freundlich, dan Brunauer-Emmett-Teller) efektivitas penambahan pupuk P dan dosis optimal bisa diketahui. Penelitian dilanjutkan dengan penambahan bahan organik baru untuk mengetahui perbedaan sifat adsorption isotherm dan priming effect tanah sub-optimal yang merupakan dua mekanisme kimia tanah paling berperan dalam ketersediaan unsur P. Dengan demikian, teknologi konservasi kesuburan dan pemupukan tanah-tanah lahan sub-optimal dapat dilakukan dengan optimal dan sumbangannya terhadap ketahanan pangan di satu daerah bisa ditingkatkan.

Kata kunci: Adsorption isotherm, priming effect, kelarutan P, bahan organik baru, tanah sub-optimal, logam Al dan Fe.

PENDAHULUAN

Ultisols adalah jenis tanah yang telah mengalami perkembangan yang sangat lanjut dengan banyak faktor pembatas. Bahan induk yang kurang subur membuat tanah ini memiliki kandungan mineral yang lebih sedikit, sehingga kurang subur dibandingkan dengan jenis tanah lainnya. Tanah ini memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan memiliki kecenderungan untuk mengikat unsur hara seperti P dan K. Struktur tanah yang padat dan keras membuat air sulit meresap ke dalam tanah dan dapat menyebabkan kelebihan air dan kekurangan oksigen yang dapat merusak akar tanaman. Hal ini disebabkan tekstur tanah yang berdebu dan berbutir kasar, sehingga tidak dapat menyimpan kelembapan dengan baik dan kurang mendukung pertumbuhan akar tanaman. Kandungan Al yang tinggi dan dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman jika melebihi ambang batas toleransi (Egbuchua, 2014; Septyani *et al.*, 2019; Taisa *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pemanfaatan tanah Ultisols untuk pertanian perlu

dilakukan upaya untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah dengan melakukan pemupukan, pengapuran, dan pengelolaan air yang baik. Selain itu, pemilihan varietas tanaman yang toleran terhadap kondisi lingkungan Ultisols juga sangat penting untuk mendukung produktivitas pertanian di tanah ini.

Tanah sulfat masam umumnya terdapat pada lahan rawa pasang surut. Tanah ini dicirikan dengan kemasaman tanah yang tinggi atau dengan nilai pH yang rendah. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan lahan sulfat masam tidak subur karena rendahnya kandungan unsur hara tersedia dan tingginya kandungan unsur meracun bagi tanaman. Tanaman padi yang ditanam di atasnya sering mengalami keracunan Fe^{2+} , asam-asam organik, dan H_2S (Shamshuddin *et al.*, 2013; Susilawati & Fahmi, 2013).

Menjadikan tanah sulfat masam sebagai persawahan merupakan pilihan yang bijaksana karena dapat mencegah tanah mengalami oksidasi yang mengakibatkan terjadinya pemasaman tanah (Bhakari *et al.*, 2013; Noor, 2004). Asam sulfat dalam tanah, sedimen, atau substrat yang terbentuk secara alami dalam kondisi tergenang air (Michael, 2015; Wilson, 2005). Apabila mineral sulfida sebagai pembentuk asam sulfat ini berpotensi sangat besar, maka akan menimbulkan dampak yang sangat buruk (Fitzpatrick *et al.*, 2008; Michael, 2015). Tanah sulfat masam berkembang akibat drainase bahan induk yang kaya dengan pirit (FeS_2) (Masulili, 2015; Sarwani, 2013), bisa diperbaiki dengan pencucian untuk mengurangi konsentrasi senyawa meracun seperti Fe^{2+} , SO_4^{2-} , H^+ , dan kemasaman tanah (Alwi *et al.*, 2010; Ar-riza *et al.*, 2015).

Lahan rawa pasang surut memiliki beberapa faktor pembatas, seperti keasaman dan toksisitas tanah karena konsentrasi Al dan Fe yang tinggi, salinitas, defisiensi unsur hara seperti P, dan muka air tanah yang tinggi untuk waktu yang lama. Rendahnya ketersediaan hara P ini berkaitan dengan rendahnya pH tanah yang akan meningkatkan kelarutan ion Al, Fe, dan Mn yang dapat menyerap P dengan membentuk ikatan Al-P and Fe-P (Kselik *et al.*, 1993).

Kedua jenis tanah di atas tergolong pada tanah sub-optimal yang bisa dimanfaatkan untuk pertanian. Faktor pembatas yang disebutkan di atas bisa diatasi dengan mengenal karakteristik kimia dan memberi perlakuan amelioran yang tepat (Egbuchua, 2014; Lumbanraja, 2013; Septyani *et al.*, 2019; Taisa *et al.*, 2019). Sementara, tanah sulfat masam bisa menjadi produktif dengan penambahan amelioran yang kurang lebih sama, yaitu kapur dan arangbio (Z. jun Liu *et al.*, 2014; Shamshuddin *et al.*, 2014)..

Priming effect bahan organik mengacu pada stimulasi aktivitas mikroba tanah dan percepatan dekomposisi bahan organik tanah (BOT) setelah penambahan bahan organik segar. Efek ini sering diamati pada tanah pertanian setelah penerapan amandemen organik, seperti pupuk kandang atau

kompos. Mekanisme ini dapat memengaruhi *adsorption isotherm* dengan mengubah ketersediaan dan reaktivitas permukaan tanah. Secara khusus, peningkatan aktivitas mikroba dapat mengakibatkan pelepasan senyawa organik, seperti asam amino dan asam organik, yang dapat bersaing dengan zat terlarut lainnya untuk situs adsorpsi pada permukaan partikel tanah. Selain itu, *priming effect* juga dapat mengubah sifat fisikokimia BOT, seperti muatan permukaan dan komposisi gugus fungsional, yang pada akhirnya dapat memengaruhi perilaku jerapan unsur hara.

Penelitian terbaru telah mengkaji hubungan antara *priming effect* dengan *adsorption isotherm* dalam tanah (Debicka *et al.*, 2016; Ige *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2019). Secara keseluruhan, hubungan antara *adsorption isotherm* dengan *priming effect* bahan organik termasuk kompleks dan spesifik pada jenis tanah. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami sepenuhnya mekanisme yang terlibat.

Dengan mempertimbangkan fakta di atas, tujuan utama dari penelitian ini adalah (1) untuk mendapatkan informasi mengenai sifat adsorpsi P dari tanah sub-optimal (Ultisol dan Inceptisols), (2) melihat hubungan antara *adsorption isotherm* dengan *priming effect* serta faktor sifat kimia tanah yang berperan, dan (3) untuk menentukan mekanisme konservasi dan peningkatan ketersediaan hara P, sehingga tanah sub-optimal menjadi lebih subur. Jika dihubungkan dengan fokus bidang unggulan RIP ULM, maka penelitian ini akan mendukung program pemanfaatan dan optimalisasi lahan sub-optimal dalam rangka ketahanan pangan regional dan nasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian I (Adsorption isotherm dan priming effect tanah sulfat masam)

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian deskriptif tentang *adsorption isotherm* di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah sawah bukaan baru di Desa Simpang Nungki, Kecamatan Cerbon, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan. Waktu pelaksanaan mulai bulan Mei sampai dengan November 2023.

Perlakuan yang akan diberikan adalah: 1) Kalopo (*Calopogonium mucunoides*; 0, 5, 10 t ha⁻¹), 2) Kompos (0, 5, 10 t ha⁻¹), dan 3) Arang sekam (0, 5, 10 t ha⁻¹). Ada 27 perlakuan dengan tiga ulangan yang akan menghasilkan 81 satuan percobaan berupa pot kecil (200 g tanah) untuk inkubasi. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap. Adapun parameter yang akan diukur adalah P-Bray, pH, Al-dd, dan Fe-larut.

Sampel tanah dari lapangan dikering-anginkan sampai cukup kering untuk ditumbuk dan diayak dengan ayakan ϕ 2 mm. Perlakuan juga akan diayak dengan ayakan yang sama setelah tercapai kering angin. Khusus untuk kalopo, biomassa basah dari lapangan dijemur sampai kering atau dioven untuk memudahkan pengayakan. Perlakuan diberikan bersamaan dengan penambahan pupuk dasar (TSP)

sebanyak 50 kg ha⁻¹ untuk menjamin adanya kandungan P yang cukup untuk dilihat dinamikanya di dalam tanah. Kemudian unit percobaan diinkubasikan selama satu bulan dalam kondisi 50% kapasitas lapang.

Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

Penelitian II (Adsorption isotherm dan priming effect tanah Ultisols)

Penelitian II pada dasarnya sama dengan Penelitian I, baik dalam hal perlakuan dan parameter yang diukur, maupun rancangan percobaan yang digunakan. Sampel tanah yang digunakan adalah jenis tanah Ultisols yang berasal dari Gunung Kupang, Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru.

Adsorption isotherm P diukur dengan menggunakan metode (Erich *et al.*, 2002; Morel *et al.*, 1996; Yusran, 2005). Untuk menentukan *adsorption isotherm* P, enam sampel tanah dengan ulangan tiga kali ditambahkan P (0, 2, 5, 10, 15, 30, dan 50 mg P kg⁻¹) dalam bentuk KH₂PO₄ dalam larutan 0,01 M CaCl₂.

Suspensi dikocok pada suhu 25 °C selama 17 jam dan supernatan disaring (Whatman #42) untuk analisis P. Fosfat yang tersisa dalam larutan setelah proses kesetimbangan diukur dengan menggunakan metode Murphy dan Riley seperti yang dijelaskan dalam (Rayment & Higginson, 1992; Yusran, 2005). Tiga persamaan jerapan isotermal (Langmuir, Freundlich, dan Brunauer-Emmett-Teller) digunakan untuk menyesuaikan data adsorpsi P.

Persamaan Langmuir, yang biasanya ditulis sebagai (Allen *et al.*, 2001; Barrow & Debnath, 2014):

$$x = \frac{(K_L x_m c)}{(1 + K_L c)}$$

menjadi persamaan linier jika disusun ulang:

$$\frac{c}{x} = \frac{1}{K_L x_m} + \frac{1}{x_m} c$$

dimana c = konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (µg P mL⁻¹), x = jumlah P yang diserap (µg P g⁻¹ tanah), x_m = adsorpsi maksimum (µg P g⁻¹ tanah), dan K_L = koefisien yang berhubungan dengan energi ikatan. Oleh karena itu, plot x/c versus c memiliki kemiringan 1/x_m dan intersep 1/K_L x_m.

Persamaan Freundlich, yang biasanya ditulis sebagai berikut:

$$x = K_F c^b$$

dapat diubah dengan transformasi log untuk memberikan persamaan linier sederhana:

$$\log x = \log K_f + b \log c$$

di mana c = konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan ($\mu\text{g P mL}^{-1}$), x = jumlah P yang diserap ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah), K_f dan b = konstanta dengan K_f adalah ukuran permukaan adsorpsi dan b berkaitan dengan energi adsorpsi (Allen et al., 2001). Plot $\log x$ versus $\log c$ memiliki kemiringan b dan intersep $\log K_f$.

Karena kesederhanaannya, yaitu hanya dua parameter yang dapat disesuaikan, persamaan Langmuir dan Freundlich tidak selalu cocok dengan data eksperimen yang didapat. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller (BET) diterapkan untuk memperhitungkan dataran tinggi, titik belok, dan maksima yang diamati dalam beberapa data (Hinz, 2001). Berbeda dengan persamaan Langmuir dan Freundlich yang tergolong persamaan adsorpsi afinitas tinggi, persamaan BET adalah persamaan adsorpsi yang dapat menjelaskan isothermal sigmoid, seperti yang diamati untuk beberapa data dari percobaan ini.

Persamaan biasanya ditulis (Essington, 2015):

$$x = \frac{K_{BET} c x_m}{(c_s - c) \left(1 + (K_{BET} - 1) \left(\frac{c}{c_s} \right) \right)}$$

Seperti dua persamaan lainnya, persamaan BET memiliki bentuk linier setelah penyederhanaan aljabarnya:

$$\frac{c}{c_s - c} \cdot \frac{1}{x} = \frac{1}{K_{BET} x_m} + \left(\frac{K_{BET} - 1}{K_{BET} x_m} \right) \left(\frac{c}{c_s} \right)$$

dimana c = konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan ($\mu\text{g P mL}^{-1}$), c_s = konsentrasi zat terlarut (yaitu tanah), x_m = adsorpsi maksimum ($\mu\text{g P g}^{-1}$ tanah), dan K_{BET} = konstanta energi interaksi dengan partikel tanah (Bureau dan Zasoski, 2002). Oleh karena itu, plot $c/(c_s-c)(1/x)$ versus $c/(c_s-c)$ memiliki kemiringan $(K_{BET} - 1)/(K_{BET} x_m)$ dan intersep $1/(K_{BET} x_m)$.

Untuk menentukan signifikansi statistik perbedaan antara perlakuan, analisis regresi linier dengan data berkelompok dilakukan pada data yang ditransformasikan untuk memberikan hubungan Langmuir atau Freundlich linier. Prosedur ini memungkinkan nilai statistik yang nyata pada titik *adsorption isotherm*.

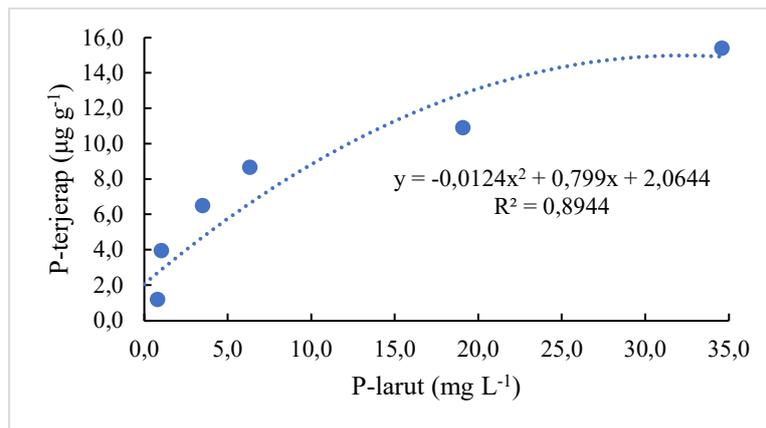
Seluruh analisis data (ANOVA, uji beda nilai tengah, dan uji yang lainnya) dilakukan dengan menggunakan SAS (*Statistical Analysis Software*) *OnDemand for Academics* atau IBM SPSS *Statistics*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

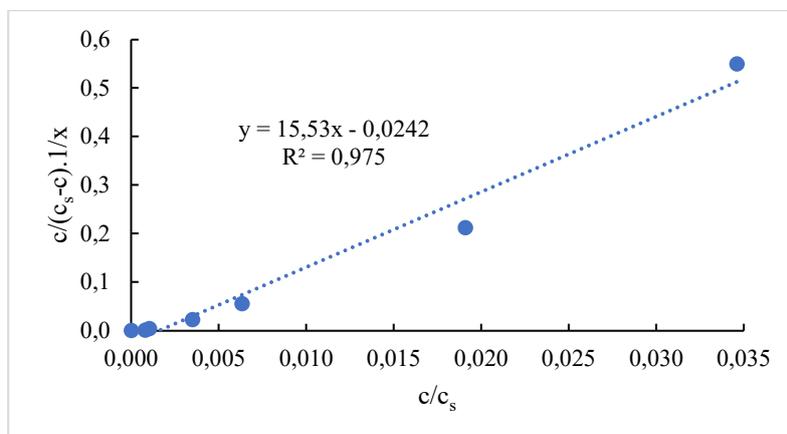
SEMINAR NASIONAL LAHAN BASAH 2023

"Ekosistem Mangrove dan Gambut: Peluang dan Tantangan dalam Pembangunan Rendah Karbon yang Berkelanjutan"
17-18 Oktober 2023
Banjarmasin

Penelitian ini menunjukkan bahwa sifat jerapan isotermal P pada tanah sulfat masam lebih tepat digambarkan dengan persamaan BET karena menyerupai dengan garis linearisasi persamaan tersebut dan mempunyai R^2 yang paling tinggi (0,9750, Tabel 1). Melihat jerapan yang terjadi, maka bisa dikatakan bahwa pemberian P dalam bentuk KH_2PO_4 dijerap oleh tanah sampel sekitar 30% (Gambar 1).



Gambar 1 Hubungan antara P-larut dengan P-terjerap dengan metode penambahan larutan KH_2PO_4 pada tanah sulfat masam.



Gambar 2 Linearisasi hubungan antara c/c_s dengan $c/(c_s - c) \cdot 1/x$ pada persamaan jerapan isotermal Brunauer-Emmett-Teller (BET) pada tanah sulfat masam.

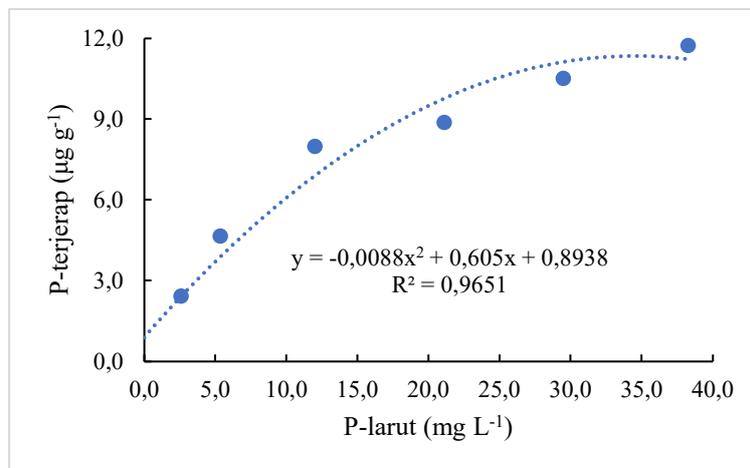
Jerapan P pada tanah dengan kandungan Al dan Fe yang tinggi sebagaimana tanah sulfat masam sangat tergantung pada pH, kandungan bahan organik, dan unsur lainnya seperti Ca. Sifat dasar dari jerapan P pada satu jenis tanah bisa digunakan untuk perkiraan *input* manajemen yang akan diberikan apabila tanah tersebut ingin ditingkatkan produktivitasnya.

Tabel 1 Parameter persamaan Brunauer-Emmett-Teller (BET) pada tanah sulfat masam

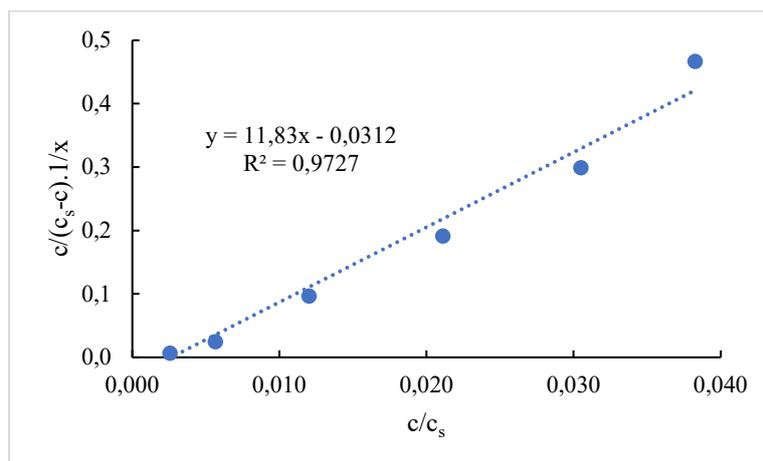
X_m	K_{BET}	R^2
0,0645	-640,7000	0,9750

Keterangan: 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.

Hubungan antara P-larut dengan P-terjerap pada tanah Ultisols menunjukkan pola logaritmik. Proses linearisasi dari persamaan Langmuir, Freundlich, dan BET menghasilkan grafik garis tren dari hubungan antara c/c_s dengan $c/(c_s-c) \cdot 1/x$ yang lebih erat dengan $R^2 = 0,9651$ seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 3 Hubungan antara P-larut dengan P-terjerap dengan metode penambahan larutan KH_2PO_4 pada tanah Ultisols.



Gambar 4 Linearisasi hubungan antara c/c_s dengan $c/(c_s-c) \cdot 1/x$ pada persamaan jerapan isotermal Brunauer-Emmett-Teller (BET) pada tanah Ultisols.

Prinsip metode ini adalah menghitung jumlah larutan yang terjerap pada permukaan koloid tanah yang akan dikarakterisasi. Nilai C dalam persamaan konstan dan sangat tergantung pada besarnya energi terjerap pada lapisan pertama yang terserap dan secara konsisten nilai C mengindikasikan gaya tarik menarik akibat interaksi penjerap dan terjerap (Busca, 2014). Turunan dari persamaan $y = 0,0312 x = 11,87 R^2 = 0,9727$ grafik di atas menghasilkan parameter persamaan BET seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 Parameter persamaan Brunauer-Emmett-Teller (BET) pada tanah Ultisols Desa Gunung Kupang Kota Banjarbaru.

X_m	K_{BET}	R^2
0,0843	-380,1669	0,9727

Keterangan: 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.

Di dalam tanah Ultisols, kandungan Al dan Fe yang tinggi menjerap unsur hara P. Kelarutan ion Al dan Fe yang tinggi dapat memiksasi P dan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi kurang baik (Dierolf et al., 2001). Unsur P di dalam tanah mudah hilang karena proses pencucian walaupun sebagian tetap terjerap pada permukaan koloid tanah. Pada kebanyakan tanah, ketersediaan P maksimum dijumpai pada kisaran pH 5,5-7,0. Ketersediaan P akan menurun bila pH tanah lebih rendah dari 5,5 atau lebih tinggi dari 7,0. Jerapan P dalam larutan tanah oleh Fe dan Al-oksida dapat menurun apabila pH meningkat. Unsur P sangat rentan untuk diikat baik pada kondisi masam maupun basa. Semakin lama P dan tanah bersentuhan, semakin banyak P terfiksasi. Seiring dengan waktu, Al akan diganti oleh Fe, sehingga kemungkinan akan terjadi bentuk Fe-P yang lebih sukar larut jika dibandingkan dengan Al-P (Firnia, 2018).

Dari hasil penelitian diketahui bahwa jumlah P yang terjerap diduga oleh Al maupun Fe peningkatan setiap pertambahan stok ppm P. Namun, peningkatan P yang terjerap tersebut semakin lama mengalami peningkatan yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan karena banyaknya P yang terjerap bertambah dan P akan menumpuk di permukaan Al-P maupun Fe-P, sehingga mencapai kesetimbangan. Tingginya jerapan P mengindikasikan ketersediaan P yang rendah. Dengan kata lain, aktivitas fiksasi terhadap tanah mineral masam dapat mengakibatkan jumlah P-tersedia akan semakin kecil.

Analisis jerapan P pada tanah Ultisol berpotensi untuk dimanfaatkan dalam bidang pertanian. Jerapan P berguna untuk mengetahui batas maksimum P tersedia untuk tanah akibat dari fiksasi oleh Al dan Fe. Selain itu, besaran jerapan P dapat digunakan untuk mengetahui dosis pemberian kapur serta pupuk agar tidak terbuang percuma. Jerapan isothermal juga bermanfaat untuk menangani tanah Ultisol yang memiliki pH masam dan kandungan Al dan Fe yang memfiksasi P di dalam tanah.

KESIMPULAN

Kelarutan Al dan Fe yang tinggi diduga mempengaruhi jerapan isothermal P. Perbedaan kondisi oksidasi komponen tanah diyakini mengubah sifat tanah dalam proses penyerapan unsur hara P, walaupun berasal dari batuan induk yang sama. Persamaan BET lebih cocok untuk menggambarkan jerapan isothermal pada jenis tanah sulfat masam.

Jerapan P pada tanah Ultisol, salah satu tanah mineral masam juga mengikuti persamaan BET. Tinggi dan rendahnya jerapan P menandakan ketersediaan P. Dengan kata lain, aktivitas fiksasi tanah mineral masam dapat mengakibatkan jumlah P-tersedia semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, D. G., Barrow, N. J., & Bolland, M. D. A. (2001). Comparing simple methods for measuring phosphate sorption by soils. *Australian Journal of Soil Research*, 39(6). <https://doi.org/10.1071/SR00078>
- Alwi, M., Sabiham, S., & Anwar, S. (2010). Pelindian tanah balandean Kalimantan Selatan pada beberapa kondisi potensial redok menggunakan sumber air insitu. *Jurnal Tanah Tropika*, 83–94.
- Ar-riza, I., Alwi, M., Tanaman, B., Penelitian, B., Lahan, P., Tanah, K., Penelitian, B., & Lahan, P. (2015). Peningkatan Hasil Padi di Tanah Sulfat Masam melalui Kombinasi Perlakuan Lindi dan Olah Tanah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 43(2), 105–110.
- Barrow, N. J., & Debnath, A. (2014). Effect of phosphate status on the sorption and desorption properties of some soils of northern India. *Plant and Soil*, 378(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2042-8>
- Bhakari, H., Fauzi, F., & Hanum, H. (2013). Pengaruh pemberian kompos jerami dan pupuk SP-36 pada tanah sulfat masam potensial terhadap perubahan sifat kimia serta pertumbuhan dan produksi padi (*Oriza sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*. <https://doi.org/10.32734/jaet.v2i1.5751>
- Busca, G. (2014). *Heterogeneous Catalytic Materials* (Elsevier, Ed.).
- Debicka, M., Kocowicz, A., Weber, J., & Jamroz, E. (2016). Organic matter effects on phosphorus sorption in sandy soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(6), 840–855. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1083981>
- Dierolf, T. S., Fairhurst, T., & Mutert, E. (2001). *Soil Fertility Kit: A toolkit for acid, upland soil fertility managment in Southeast Asia*. 15(2), 149.
- Egbuchua, C. N. (2014). Variability in Soil Properties as Influenced by Different Land Use Types in an Ultisols of the Tropical Region, Delta State, Nigeria. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 47(2). <https://doi.org/10.2478/ats-2014-0006>
- Erich, M. S., Fitzgerald, C. B., & Porter, G. A. (2002). The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88(1). [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00147-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00147-5)
- Essington, M. E. (2015). Soil and water chemistry; an integrative approach. In *Outlook on Agriculture* (Vol. 6, Issue 6).

- Firnia, D. (2018). Dinamika Unsur Fosfor Pada Tiap Horison Profil Tanah Masam. *Jurnal Agroekoteknologi*, 10(1), 45–52. <https://doi.org/10.33512/j.agrtek.v10i1.5464>
- Fitzpatrick, R., Grealish, G., Shand, P., Marvanek, S., Thomas, B., Creeper, N., Merry, R., & Raven, M. (2008). Information paper on risk assessment of acid sulfate soil materials in the Currency Creek, Finnis River, Tookayerta Creek and Black Swamp Region, South Australia. *CSIRO*, January, 1–13.
- Hinz, C. (2001). Description of sorption data with isotherm equations. *Geoderma*, 99(3–4). [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00071-9)
- Ige, D. V., Akinremi, O. O., & Flaten, D. N. (2007). Direct and Indirect Effects of Soil Properties on Phosphorus Retention Capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1), 95–100. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2005.0324>
- Kselik, R. A. L., Smilde, K. W., Ritzema, H. P., Subagyono, K., Saragih, S., Damanik, M., & Suwardjo, H. (1993). Integrated research on water management, soil fertility and cropping systems on Acid Sulfate Soils in South Kalimantan, Indonesia. *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils*, March.
- Lumbanraja, P. (2013). PENGARUH POLA PENGOLAHAN TANAH DAN PUPUK KANDANG TERHADAP BEBERAPA SIFAT FISIK TANAH ULTISOL DAN. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Masulili, A. (2015). Pengelolaan lahan sulfat masam untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Agrosans*, 12, 1–13.
- Michael, P. S. (2015). Ecological Impacts and Management of Acid Sulphate Soil : A Review. *Journal Asian: Water, Environment and Pollution*, March.
- Morel, C., Tiessen, H., & Stewart, J. W. B. (1996). Correction for P-sorption in the measurement of soil microbial biomass P by CHCl₃ fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12). [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00245-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00245-3)
- Noor, M. (2004). *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta. Jakarta: Divisi Buku Perguruan Tinggi.
- Rayment, G. E., & Higginson, F. R. (1992). Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. *Australian Soil and Land Survey Handbook*.
- Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 7(1). <https://doi.org/10.2018/jsdl.v7i1.6429>
- Septyani, I. A. P., Yasin, S., & Gusmini, G. (2019). Utilization of sugarcane filter press mud compost as organic fertilizer for improving chemical properties of ultisols and oil palm seedlings. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(3).
- Shamshuddin, J., Azman, E. A., Shazana, R. S., & Ishak, C. (2013). Rice defense mechanisms against the presence of excess amount of Al³⁺ and Fe²⁺ in the water. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 314–320.
- Susilawati, A., & Fahmi, A. (2013). Dinamika Besi pada Tanah Sulfat Masam yang Ditanami Padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(2), 67–75.
- Taisa, R., Maulida, D., Salam, A. K., Kamal, M., & Niswati, A. (2019). Improvement of Soil Chemical Properties and Growth of Maize due to Biochar Application on Ultisol. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 24(3). <https://doi.org/10.5400/jts.2019.v24i3.101-107>

- Yang, X., Chen, X., & Yang, X. (2019). Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2018.11.016>
- Yusran, F. H. (2005). *Soil organic matter decomposition: Effect of organic matter addition on P dynamics in lateritic soils*. The University of Western Australia.