Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah *p-ISSN 2656-5021*
Volume 8 Nomor 2 Halaman 8-15 April 2023 *e-ISSN 2657-1579*

JERAPAN ISOTERMAL UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS PUPUK FOSFAT PADA SAWAH BUKAAN BARU DI KABUPATEN BARITO KUALA

Fadly Hairannoor Yusran*, Zuraida Titin Mariana
Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jendral Ahmad Yani KM 36, Banjarbaru, Indonesia
*Penulis korespondensi: fhyusran@ulm.ac.id

Abstrak. Tanah sulfat masam termasuk 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. Faktor penyebabnya adalah jauh dari sumber air sungai, dekomposisi bahan organik, dan oksidasi lapisan sulfida di lapisan tanah bawah. Kalaupun ditanami, maka sawah baru ini tidak akan menghasilkan apa-apa. Penelitian awal menunjukkan bahwa perlakuan amelioran (arangbio, 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 ini bertujuan untuk melihat karakteristik alami jerapan pada tanah sawah bukaan baru terhadap kelarutan unsur hara makro P dengan menggunakan tiga persamaan jerapan isotermal, yaitu Langmuir, Freundlich, dan Brunauer Emmett-Teller (BET) Dengan ketiga persamaan tersebut akan diketahui kekuatan jerapan dan efektivitas penambahan pupuk P dan dosis optimal untuk tanah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persamaan BET lebih cocok untuk tanah sulfat masam di wilayah penelitian dibandingkan dengan dua persamaan yang lain.

Kata kunci: Jerapan isotermal, P, tanah sulfat masam, Al, dan Fe.

1. PENDAHULUAN

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).

Kondisi tanah sulfat masam (pH <3,5) membuat unsur hara larut lebih cepat dan konsentrasi Fe meningkat pada air sawah (Shazana et al., 2014). Pemberian amelioran kapur adalah praktik agronomi yang umumnya digunakan untuk mengurangi keasaman dan toksisitas Al pada tanah masam. Ameliorasi dengan kapur adalah salah satu teknologi yang efektif untuk memperbaiki: 1) sifat fisik tanah dengan meningkatkan granulasi untuk memperbaiki aerasi, 2) sifat kimia tanah dengan mengurangi ion H, Fe, Al, dan Mn, serta meningkatkan ketersediaan Ca, Mg, dan P), dan 3) sifat biologis tanah dengan meningkatkan aktivitas mikroba (Koesrini et al., 2015). Pengapuran memiliki efek menguntungkan pada struktur tanah karena meningkatkan stabilitas struktur tanah (Quiroga et al., 2017).

Defisiensi merupakan salah satu faktor utama penghambat produksi tanaman pertanian (Kirkby & Johnston, 2008; Marschner, 2011). Kekurangan P terdapat hampir di seluruh dunia dan mempengaruhi 42% dari lahan budidaya (Liu et al., 1994). Rekomendasi pemupukan dapat mengakibatkan aplikasi berlebih pada tanah yang

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

sebenarnya hanya memerlukan jumlah yang lebih sedikit. Pupuk P merupakan input yang mahal dan efisiensi penggunaannya oleh tanaman hanya berkisar antara 10-25% (Oliveira et al., 2018). Karena mahalnya harga pupuk P, maka perlu diterapkan dengan cara yang paling efisien, efektif, dan ekonomis.

Penggunaan jerapan isotermal disarankan oleh banyak peneliti untuk menentukan jumlah P yang dibutuhkan ke tingkat optimum untuk hasil tanaman maksimum (Fox & Kamprath, 1970; Holford, 1997). Sejumlah model telah dikembangkan (Kinniburgh, 1986; McGechan & Lewis, 2002) untuk menggambarkan secara kuantitatif jerapan isotermal yang paling populer seperti Langmuir (Dossa et al., 2008; Essington, 2015; Pant & Reddy, 2001), Freundlich (Essington, 2015; Sparks, 2003), dan Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Essington, 2015; Giles et al., 1974; Hinz, 2001).

Hubungan penyerapan P biasanya digunakan dalam penentuan kebutuhan P (EPR=*External Phosphorus Requirement*) tanaman. EPR adalah konsentrasi P dalam larutan yang tidak membatasi pertumbuhan tanaman (Fox & Kamprath, 1970; Gichangi et al., 2008). Untuk sebagian besar tanaman, jumlah P dalam kesetimbangan dengan 0,2 mg P L^{-1} ($EPR_{0,2}$) telah terbukti menjadi ambang batas di mana tidak ada respons terhadap P yang diamati (Allen et al., 2001; Barrow & Debnath, 2014; Iyamuremye et al., 1996).

Dengan mempertimbangkan fakta di atas, tujuan utama dari penelitian ini adalah (1) untuk mendapatkan informasi mengenai adsorpsi P dari tanah sulfat masam, (2) untuk mengidentifikasi kandungan Al dan Fe yang terkait dengan adsorpsi P tanah sulfat masam, dan (3) untuk mengetahui proses adsorpsi berdasarkan persamaan jerapan isotermal yang dikenal.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif tentang jerapan isotermal P dengan menggunakan sampel tanah sawah bukaan baru di Ray 7 Desa Balandean, Kecamatan Alalak, Kabupaten Barito Kuala. Waktu pelaksanaan mulai bulan Mei sampai dengan November 2022.

Sampel tanah dikering-anginkan selama dua minggu. Kemudian ditumbuk dan diayak dengan ayakan Ø 2 mm. Sampel tanah dipersiapkan sebanyak 500 g untuk analisis jerapan dan pendahuluan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

Jerapan isotermal P diukur dengan menggunakan metode (Erich et al., 2002; Morel et al., 1996; Yusran, 2005, 2018). Untuk menentukan pola jerapan terbaik enam sampel tanah dengan ulangan tiga kali ditambahkan P (30, 40, 50, 60, 80, 100 mg P kg^{-1}) dalam bentuk KH_2PO_4 1 g tanah dalam 25 mL 0,01 M $CaCl_2$. Konsentrasi ini ditetapkan dalam percobaan awal untuk mengetahui kisaran konsentrasi yang sesuai, mengingat kapasitas fiksasi P yang tinggi dari tanah sulfat masam. Suspensi dikocok dalam tabung sentrifusi 50 mL pada suhu 25 °C selama 17 jam. Tabung disentrifusi pada 3000 rpm selama lima menit 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).

Dua persamaan jerapan isotermal, yaitu Langmuir, Freundlich, dan (BET) digunakan untuk menyesuaikan data adsorpsi P. Persamaan Langmuir, biasanya ditulis sebagai (Allen et al., 2001; Barrow & Debnath, 2014):

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

menjadi persamaan linier jika disusun ulang:

$$\frac{c}{x} = \frac{1}{K_L x_m} + \frac{1}{x_m} c \quad (2)$$

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 intersepsi $1/K_L x_m$.

Persamaan Freundlich, biasanya ditulis sebagai berikut:

$$x = K_F c^b \quad (3)$$

dapat diubah dengan transformasi log untuk memberikan persamaan linier sederhana menjadi:

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

$$log\ x = log\ K_f + b\ log\ c \quad (4)$$

di mana c = konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (µg P mL^{-1}), x = jumlah P yang diserap (µg P g^{-1} tanah), K_F dan b = konstanta dengan K_F adalah ukuran permukaan adsorpsi dan b berhubungan dengan energi adsorpsi (Allen et al., 2001). Plot log x versus log c memiliki kemiringan b dan intersepsi 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 BET diterapkan untuk memperhitungkan dataran tinggi, titik belok, dan maksima yang diamati dalam beberapa data (Giles et al., 1974; Hinz, 2001). Berbeda dengan persamaan Langmuir dan Freundlich yang tergolong persamaan adsorpsi afinitas tinggi, persamaan Brunauer-Emmett-Teller adalah persamaan adsorpsi yang dapat menjelaskan isotermal sigmoid, seperti yang diamati untuk beberapa data dari percobaan ini.

Persamaan biasanya ditulis (Essington, 2015):

$$x = \frac{K_{BET} c x_m}{(c_s - c)\left(1 + (K_{BET} - 1)\left(\frac{c}{c_s}\right)\right)} \quad (5)$$

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

$$\frac{c}{c_s - c} \cdot \frac{1}{x} = \frac{1}{K_{BET} x_m} + \left(\frac{K_{BET} - 1}{K_{BET} x_m}\right)\left(\frac{c}{c_s}\right) \quad (6)$$

dimana c = konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (µg P mL^{-1}), cs = konsentrasi zat terlarut (yaitu tanah), xm = adsorpsi maksimum (µg P g^{-1} tanah), dan K_{BET} = konstanta energi interaksi dengan partikel tanah (Burau dan Zasoski, 2002). Oleh karena itu, plot c/(cs-c)(1/x) versus c/(cs-c) memiliki kemiringan (K_{BET} -1)/(K_{BET} x_m) dan intersepsi 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 linear dalam persamaan Langmuir, Freundlich, atau BET. Prosedur ini memungkinkan nilai statistik yang nyata pada titik jerapan isotermal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

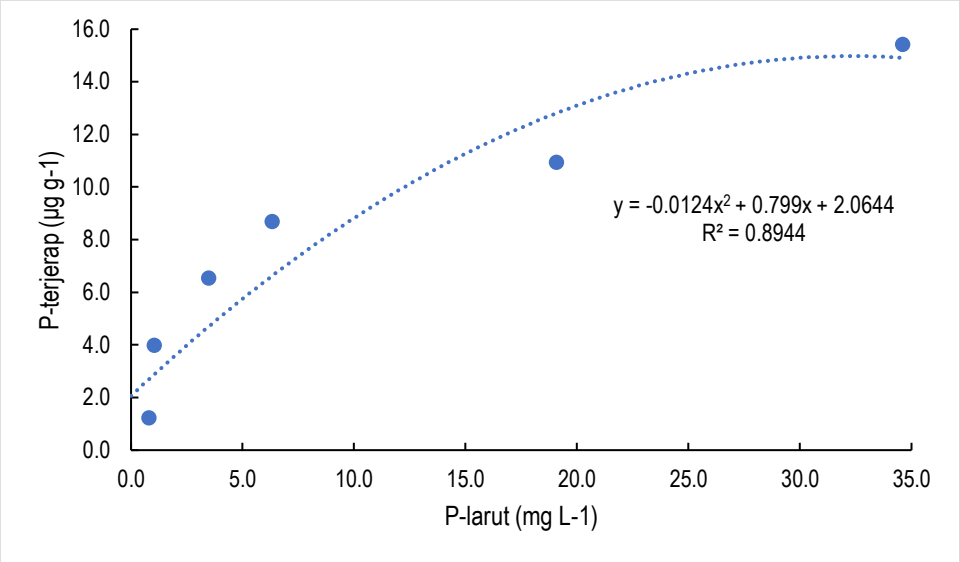
Setelah melakukan pengukuran parameter jerapan isotermal dengan menggunakan metode (Yusran, 2005, 2018) pada sampel tanah penelitian, ternyata data yang didapat tidak menunjukkan grafik logaritmik seperti yang diharapkan. Hubungan antara P-larut dengan P-terjerap hanya memperlihatkan grafik polinomial ordo 2. Padahal yang dicari adalah grafik eksponensial. Penambahan K_2PO_4 dalam bentuk serbuk dengan kisaran 0, 30, 40, 50, 60, 80, dan 100 mL kg^{-1} dianggap tidak memenuhi kriteria untuk menentukan persamaan jerapan isotermal. Mengingat bahwa metode yang dikemukakan oleh Yusran (2005, 2018) adalah untuk tanah laterit Australia, maka dilakukan modifikasi untuk penyesuaian karakteristik liat masing-masing tanah. Akhirnya, diputuskan untuk melakukan pengulangan analisis jerapan isotermal P dengan cara melakukan penambahan KH_2PO_4 dalam bentuk cairan KH_2PO_4 0,01 M dengan kisaran yang lebih rendah konsentrasinya (0, 2, 5, 10, 15, 30, dan 50 mL kg^{-1}). Dengan demikian, grafik yang dihasilkan akan berubah menjadi logaritmik, sehingga pemilihan persamaan jerapan menjadi lebih akurat (Gambar 1).

Tabel 1. Status hara sampel tanah lokasi penelitian di Ray 7 Desa Balandean Kecamatan Alalak Kabupaten Barito Kuala (0-40 cm)

No	Sifat Tanah	Nilai	Kriteria
Fisik			
1	Pasir	18,97	
2	Debu	44,32	Lempung liat berdebu
3	Liat	36,71	
Kimia			

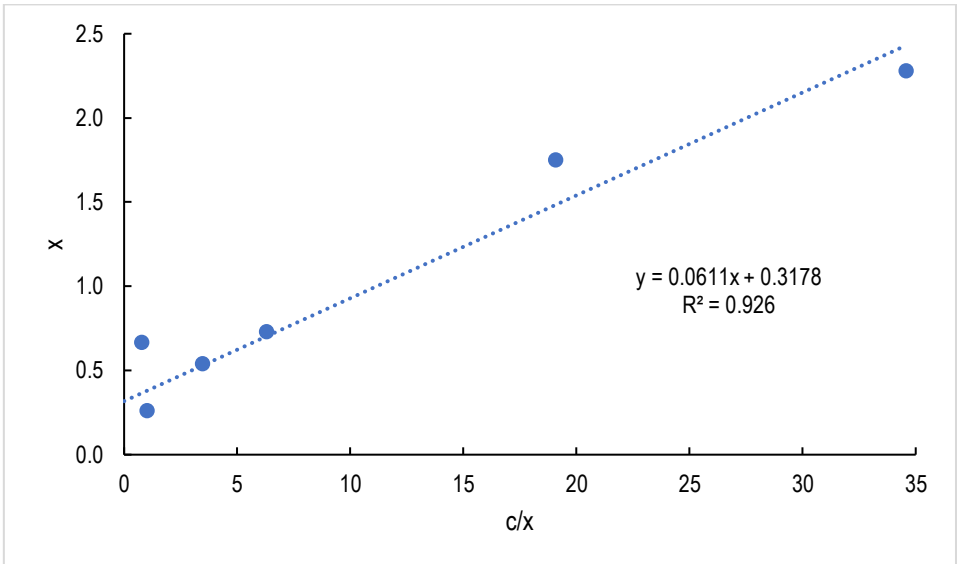
© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

1	N-total (Kjeldahl, %)	0,24	Sedang
2	C-organik (Walkley-Black, %)	4,47	Tinggi
3	P-total (HCl, mg 100 g^{-1})	34,95	Sedang
4	K-total (HCl, me 100 g^{-1})	22,16	Sedang
5	P-tersedia (Bray, ppm)	2,13	Sangat rendah
6	Fe-larut (ppm)	137,69	Sangat tinggi
7	pH (Ekstrak H_2O; 1:2,5)	3,58	Sangat masam
8	Al-dd (me 100 g^{-1})	5,81	Sedang
9	KTK (me 100 g^{-1})	4,66	Sangat rendah



Gambar 1. Hubungan antara P-larut dengan P-terjerap dengan metode penambahan larutan KH_2PO_4.

Hasil analisis parameter jerapan isotermal dengan larutan ini menghasilkan hubungan antara P-larut dengan P-terjerap yang lebih baik dan sesuai dengan pola logaritmik yang diharapkan. Melalui proses linearisasi dari persamaan Langmuir (2), maka didapat grafik garis tren hubungan antara c/x dan x seperti yang disajikan pada Gambar 2 dengan persamaan y = 0,3178 + 0,0611x dengan R^2 = 0,926. Turunan dari persamaan di atas menghasilkan parameter Persamaan Langmuir seperti yang disajikan pada **Error! Reference source not found.**.

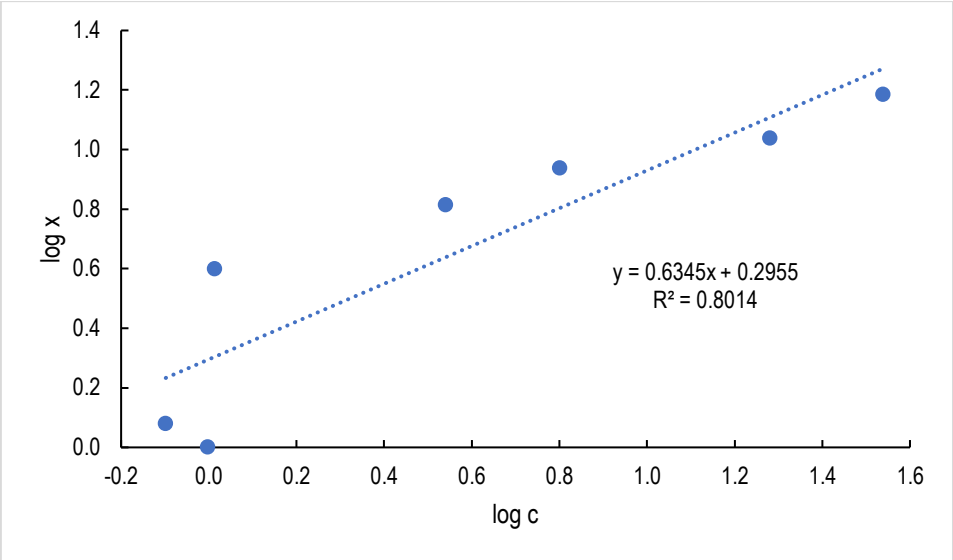


Gambar 2. Linearisasi hubungan antara c/x dengan x pada persamaan jerapan isotermal Langmuir.

Dari proses linearisasi di atas, maka didapat parameter persamaan Langmuir seperti yang disajikan pada Tabel 2. Selanjutnya, data hubungan antara P-larut dengan P-terjerap pada Gambar 1 digunakan untuk mencari

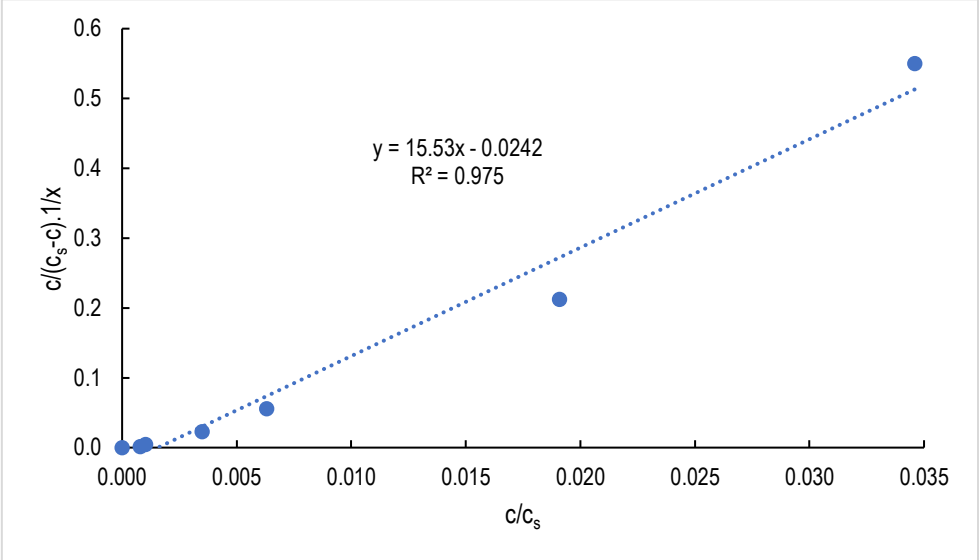
© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

grafik Gambar 1 hubungan linear log c dengan log x pada persamaan Freundlich seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Linearisasi hubungan antara log c dengan log x pada persamaan jerapan isotermal Freundlich.

Melalui proses linearisasi dari persamaan Freundlich (3), maka didapat persamaan y = 0,2955 + 0,6345x dengan R^2 = 0,8014. Turunan dari persamaan di atas menghasilkan parameter Persamaan Freundlich seperti yang disajikan pada Tabel 2 .



Gambar 4. Linearisasi hubungan antara c/c_s dengan $c/(c_s-c).1/x$ pada persamaan jerapan isotermal BET.

Kemudian, *curve fitting* dilanjutkan dengan menggunakan persamaan Brunauer-Emmett-Teller (6) yang menghasilkan hubungan linear antara c/c_s dengan $c/(c_s-c).i/x$ seperti yang terlihat pada Gambar 4. **Error! Reference source not found.**Adapun persamaan garis trennya adalah y = -0,0242 + 15,53x dengan R^2 = 0,975. Turunan dari persamaan BET menghasilkan parameter yang disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter Langmuir, Freundlich, dan Brunauer-Emmett-Teller (BET) setelah linearisasi persamaan

Energi Adsorpsi	Konstanta	Koefisien Determinasi
Langmuir		
x_m	K_L	R^2
16,3666	0,1923	0,9260

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

Freundlich		
b	K_F	R^2
0,6345	1,9747	0,8014
Brunauer-Emmett-Teller		
x_m	K_{BET}	R^2
0,0645	-640,7000	0,9750

Jerapan P pada tanah dengan kandungan Al dan Fe yang tinggi (Tabel 1) 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.

Pada penelitian ini terlihat bahwa sifat jerapan isotermal P lebih tepat digambarkan dengan persamaan BET (Gambar 4) karena menyerupai dengan garis linearisasi persamaan tersebut dan mempunyai R^2 yang paling tinggi (0,9750, mendekati 1,00, Tabel 2). Melihat jerapan yang terjadi, maka bisa dikatakan bahwa pemberian P dalam bentuk KH_2PO_4 dijerap oleh tanah sampel sekitar 30% (Gambar 1). Penelitian Alia Farhana et al. (2017); Azman et al. (2014); dan Sarwani et al. (2003) menunjukkan bahwa pemberian amelioran berupa kapur dan bahan organik mengurangi kelarutan Al dan meningkatkan produksi padi pada tanah sulfat masam. Hal ini diduga karena amelioran membuat aktivitas Al dan juga Fe menjadi berkurang melalui pembentukan kompleks organo-metal Al dan Fe (Sarwani et al., 2003) agar tidak melebihi ambang batas meracun. Dengan demikian, apabila tanah tersebut diberi pupuk P, maka sangat penting untuk memperhatikan besaran P yang terjerap. Oleh karena itu, apabila penambahan pupuk P dilakukan, maka harus disertai dengan penambahan amelioran lain agar konsentrasi P yang dijerap atau difiksasi oleh fraksi liat bisa menjadi tersedia bagi tanaman (Koesrini et al., 2015).

4. SIMPULAN

1. Penelitian jerapan isotermal P pada tanah sulfat masam tidak bisa menggunakan metode yang digunakan untuk tanah lahan kering seperti yang banyak dilakukan para peneliti.
2. Kelarutan Al dan Fe yang tinggi diduga mempengaruhi jerapan isotermal P. Perbedaan kondisi oksidasi komponen tanah diyakini mengubah sifat tanah dalam proses penjerapan unsur hara P, walaupun berasal dari batuan induk yang sama.
3. Persamaan BET lebih cocok untuk menggambarkan jerapan isotermal pada jenis tanah ini.
4. Perlu disusun metode baku untuk analisis jerapan isotermal P pada tanah sulfat masam di Kalimantan Selatan sebagai luaran tambahan pada penelitian ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Universitas Lambung Mangkurat atas bantuan dana melalui Program Dosen Wajib Meneliti. Bantuan tenaga dari mahasiswa dan laboran di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian sangat dihargai.

6. DAFTAR PUSTAKA

Alia F, J., Shamshuddin, J., Fauziah, C. I., Husni, M. H. A., & Panhwar, Q. A. (2017). Enhancing the fertility of an acid sulfate soil for rice cultivation using lime in combination with bio-organic fertilizer. *Pakistan Journal of Botany*.

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.

Azman, E. A., Jusop, S., & Ishak, C. F. (2014). *Increasing Rice Production Using Different Lime Sources on an Acid Sulphate Soil in Merbok , Malaysia*. *37*(2), 223–247.

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

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

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

Dossa, E. L., Baham, J., Khouma, M., Sene, M., Kizito, F., & Dick, R. P. (2008). Phosphorus sorption and desorption in semiarid soils of senegal amended with native shrub residues. *Soil Science*, *173*(10). https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181893999

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

Essington, M. E. (2015). Soil and water chemistry; an integrative approach. In *Outlook on Agriculture* (Vol. 6, Issue 6).

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, Finniss River, Tookayerta Creek and Black Swamp Region, South Australia. *CSIRO*, *January*, 1–13.

Fox, R. L., & Kamprath, E. J. (1970). Phosphate Sorption Isotherms for Evaluating the Phosphate Requirements of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, *34*(6). https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400060025x

Gichangi, E. M., Mnkeni, P. N. S., & Muchaonyerwa, P. (2008). Phosphate sorption characteristics and external P requirements of selected South African Soils. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, *109*(2).

Giles, C. H., Smith, D., & Huitson, A. (1974). A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. *Journal of Colloid And Interface Science*, *47*(3). https://doi.org/10.1016/0021-9797(74)90252-5

Hinz, C. (2001). Description of sorption data with isotherm equations. *Geoderma*, *99*(3–4). https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00071-9

Holford, I. C. R. (1997). Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, *35*(2). https://doi.org/10.1071/S96047

Iyamuremye, F., Dick, R. P., & Baham, J. (1996). Organic amendments and phosphorus dynamics: II. distribution of soil phosphorus fractions. *Soil Science*, *161*(7). https://doi.org/10.1097/00010694-199607000-00003

Kinniburgh, D. G. (1986). General Purpose Adsorption Isotherms. *Environmental Science and Technology*, *20*(9). https://doi.org/10.1021/es00151a008

Kirkby, E. A., & Johnston, A. E. (2008). *Soil and fertilizer phosphorus in relation to crop nutrition*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5_9

Koesrini, William, E., & Nursyamsi, D. (2015). Application of Lime and Adaptable Variety to Increase Tomato Productivity at Potential Acid Sulphate Soil. *Journal of Tropical Soils*, *19*(2), 59–66. https://doi.org/10.5400/jts.2014.v19i2.59-66

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*.

Liu, J. Z., Z. S. Li, & J. Y. Li. (1994). Utilization of plant potentialities to enhance the bio-efficiency of phosphorus in soil. *Ecoagriculture Research*, *2*, 16–23.

Marschner, P. (2011). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

Masulili, A. (2015). Pengelolaan lahan sulfat masam untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Agrosans*, *12*, 1–13.

McGechan, M. B., & Lewis, D. R. (2002). Sorption of phosphorus by soil, part 1: Principles, equations and models. In *Biosystems Engineering* (Vol. 82, Issue 1). https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0054

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

Noor, M. (2004). *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.* Jakarta: Divisi Buku Perguruan Tinggi.

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat

Oliveira, R. de, Silva, L. S., Souza, N. F. de, Pietroski, M., Caione, G., Júnior, G. de F. S., Ferbonink, G. F., Gomes, R. P., Júnior, J. M., Santos, G. A. de A., & Campos, M. C. C. (2018). Mineralogy and Maximum Phosphorus Adsorption Capacity in Soybean Development. *Journal of Agricultural Science*, *10*(7). https://doi.org/10.5539/jas.v10n7p242

Pant, H. K., & Reddy, K. R. (2001). Phosphorus Sorption Characteristics of Estuarine Sediments under Different Redox Conditions. *Journal of Environmental Quality*, *30*(4). https://doi.org/10.2134/jeq2001.3041474x

Quiroga, M. J., Olego, M. Á., Sánchez-García, M., Medina, J. E., Visconti, F., Coque, J. J. R., & Jimeno, J. E. G. (2017). Effects of liming on soil properties, leaf tissue cation composition and grape yield in a moderately acid vineyard soil. Influence on must and wine quality. *Oeno One*, *51*(4), 342–362. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.2039

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

Sarwani, M., Shamshuddin, J., Husni, M., & Ishak, C. (2003). Alleviation of Aluminum Toxicity in an Acid Sulfate Soil in Malaysia Using Organic Materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *34*, 2993–3011. https://doi.org/10.1081/CSS-120025221

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.

Shazana, M. A. R., Shamshuddin, J., Fauziah, C. I., Panhwar, Q. A., & Naher, U. A. (2014). Effects of applying ground basalt with or without organic fertilizer on the fertility of an acid sulfate soil and growth of rice. *Malaysian Journal of Soil Science*, *18*, 87–102.

Sparks, D. L. (2003). Environmental Soil Chemistry: Second Edition. In *Environmental Soil Chemistry: Second Edition*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-656446-4.X5000-2

Susilawati, A., & Fahmi, A. (2013). Dinamika Besi pada Tanah Sulfat Masam yang Ditanami Padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, *7*(2), 67–75.

Wilson, B. (2005). Elevations of sulfurous layers in acid sulfate soils: What do they indicate about sea levels during the Holocene in Eastern Australia? *Catena*, *62*, 45–56. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.02.002

Yusran, F. H. (2005). *Soil organic matter decomposition: Effect of organic matter addition on P dynamics in lateritic soils*. The University of Western Australia.

Yusran, F. H. (2018). The Relationship between Phosphate Adsorption and Soil Organic Carbon from Organic Matter Addition. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, *15*(1). https://doi.org/10.5400/jts.2010.v15i1.1-10

© 2023 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat