

Hubungan Ketersediaan Fosfor dan Kelarutan Fe pada Tanah Sawah Sulfat Masam

Muhammad Khalqi Alwi, Fakhur Razie*, Ahmad Kurnain

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

*Email penulis korespondensi: fakhur.razie@ulm.ac.id

Informasi Artikel

Received 18 Mei 2023

Accepted 28 Juli 2023

Published 31 Juli 2023

Online 31 Juli 2023

Keywords:

Macronutrients;

Fractination Fe-P; Low land.

Abstract

One of the prospective places for agricultural usage in acid sulfate rice fields, which are typically spread out in lowland areas along coastlines that occasionally undergo flooding. If handled effectively in accordance with the issues found in the land, this site can be developed as a productive agricultural region. Agricultural development on acid sulfate soils frequently encounters a number of issues, including (pH) acidic soil, high iron content, a lack of phosphate availability, and the presence of pyrite (FeS_2). In this study, the relationship between P availability, Fe solubility, the Fe-P fraction, pH, Eh, and pyrite depth in acid sulfate paddy fields will be examined. Purposive sampling was used in field research utilizing the survey method in the acid sulphate rice fields of Barito Kuala Regency. This research was based on the distribution map of Fe solubility in Barito Kuala Regency. The results of this study indicate that there are three variables that have a significant effect on P availability: soluble Fe and Fe-P fraction with the power regression form and a very strong relationship; and soil pH with a linear regression form and a strong relationship. Pyrite depth and soil Eh had no significant relationship with P availability in acid-sulfate lowland rice fields.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki lahan rawa seluas 34,12 juta ha, terdiri dari lahan rawa pasang surut seluas 8,92 juta ha dan lahan rawa lebak seluas 25,20 juta ha (BBSDLP, 2015). Tanah sulfat masam yang merupakan bagian dari lahan pasang surut, dengan areal yang cukup luas sekitar 8,92 juta ha. Tanah sulfat masam umumnya tersebar di daerah dataran rendah yang terletak di daerah pesisir atau dekat sungai besar, dan dipengaruhi oleh pasang surut aliran air laut dan sungai. Tanah sulfat masam ini tergolong lahan marginal dan rapuh yang memiliki ciri terdapat horizon sulfur serta adanya lapisan tanah yang mengandung pirit (FeS_2). Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kurang suburnya tanah sulfat masam adalah keberadaan pirit, kandungan hara yang rendah dan kandungan tinggi dari unsur Fe yang dapat meracuni tanaman.

Pirit (FeS_2) pada kondisi anaerob atau tergenang merupakan senyawa yang stabil dan tidak berbahaya, akan tetapi menjadi berbahaya jika kondisi tanah berubah menjadi aerob. Senyawa pirit dalam kondisi aerob akan teroksidasi dan menghasilkan senyawa beracun serta meningkatkan kemasaman tanah, sejumlah besar ion H akan mengakibatkan tanah bereaksi sangat masam ($\text{pH} < 3,5$). Pirit berpengaruh terhadap kemasaman (pH) tanah, semakin dangkal lapisan pirit maka kemasaman tanah cenderung meningkat (Sutandi et al., 2011). Kemasaman tanah yang meningkat dapat menyebabkan meningkatnya logam-logam berat, salah satunya Fe.

Besi merupakan salah satu unsur utama yang terdapat di lahan rawa, terutama pada tanah sulfat masam. Selain sebagai unsur mikro essential bagi tanaman, besi juga dapat menjadi unsur toksik bagi tumbuhan pada konsentrasi tinggi. Keberadaan Fe dalam jumlah banyak di tanah sulfat masam juga memungkinkan tidak tersedianya hara P bagi tanaman yang diakibatkan adanya fiksasi P oleh senyawa Fe yang membentuk FePO_4 , sehingga menyebabkan pemupukan P pada tanah menjadi tidak efektif (Karimian et al., 2018).

Keberadaan unsur P belum tentu bisa digunakan oleh tanaman jika P tersebut berada dalam bentuk tidak tersedia. Hal ini seringkali ditemukan pada tanah sulfat masam yang mana memiliki pH yang rendah. Kondisi ini

dapat menyebabkan kelarutan Fe menjadi tinggi, sehingga dapat mengikat hara P dalam bentuk Fe-P yang menyebabkan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Kim et al., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut maka akan terdapat hubungan antara ketersediaan P dengan kelarutan Fe, Fraksi Fe-P, dengan pH tanah, dengan Eh tanah dan dengan kedalaman pirit. Oleh sebab itu, maka diperlukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan dan bentuk hubungan yang terbentuk.

2. Bahan dan Metode

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di tanah sulfat masam yang digunakan sebagai sawah di wilayah Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. Penelitian ini dilaksanakan pada 25 Maret – 12 Juni 2022.

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan survei dengan menggunakan deskriptif-eksploratif, yaitu dengan melakukan survei di lapangan pada lokasi tanah sawah sulfat masam dengan tipe lahan pasang surut tipe B, lalu dilanjutkan dengan identifikasi sebaran Fe. Sampel tanah diambil pada lokasi di tanah sulfat masam yang digunakan sebagai persawahan menggunakan metode purposive sampling yang ditentukan berdasarkan berbagai konsentrasi Fe pada tanah sawah sulfat masam. Pengambilan sampel tanah diambil sebanyak 24 titik pada berbagai konsentrasi sebaran Fe tanah dengan kedalaman 0-20 cm.

2.3. Pelaksanaan penelitian

Sebelum dilaksanakan pengambilan sampel tanah, terlebih dahulu dilakukan observasi lokasi. Lokasi yang akan dipilih adalah tanah sulfat masam yang difungsikan sebagai sawah pada Kabupaten Barito Kuala dengan tujuan didapatkan sebuah variasi konsentrasi Fe, lokasi ditentukan berdasarkan peta sebaran Fe dengan kategori rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi dengan 6 sampel dalam satu kategori konsentrasi Fe, sehingga didapatkan total titik sampel tanah yang diambil sebanyak 24 titik. Dilanjutkan dengan penyediaan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengambilan sampel.

Pelaksanaan dimulai dengan pengamatan kedalaman pirit, dilaksanakan dengan cara pengambilan sampel tanah sepanjang 100 cm menggunakan bor tanah yang kemudian diletakkan pada alas secara berurutan, lalu disemprotkan dengan larutan H_2O_2 dari bagian terdalam menuju terdangkal secara perlahan. Tanah akan bereaksi dengan timbulnya buih berwarna abu serta bau belerang jika pada lapisan tanah tersebut terdapat pirit.

Sampel diambil dengan menggunakan bor tanah yang kemudian disimpan pada kantong plastik bening diberikan label penanda lalu dibawa menggunakan ice box agar sampel tetap terjaga. Sampel tanah yang telah diambil kemudian dianalisis di laboratorium sesuai dengan peubah-peubah yang diamati yaitu pH, Eh, P-tersedia dengan metode Bray, Fe-larut, Fraksi Fe-P tanah. Fraksi Fe-P ditetapkan menggunakan metode skuensing fraksionasi P pada sampel tanah seperti yang dikemukakan Chulo et al. (2023), dengan tiga tahapan untuk mendapat Fe-P, tahapan fraksionasi:

1. P larut dan terikat lemah: 1 gr sampel tanah diekstrak dengan 50 ml NH_4Cl 1M selama 30 menit (dikocok), disentrifus dan memisahkan supernatan dengan residu sampel tanah 1.
2. Aluminium – P (AL-P): residu sampel tanah 1 diekstrak 50 ml NH_4F pH 8,2 selama 1 jam (dikocok), disentrifus dan memisahkan supernatan dengan residu, sampel tanah 2.
3. Besi – P (Fe-P): mencuci residu sampel tanah 2 dengan 25 ml NaCl jenuh. Selanjutnya residu sampel tanah 2 diekstrak dengan 50 ml NaOH 0,1M selama 17 jam (dikocok), disentrifus dan memisahkan supernatan dengan ke dalam labu ukur 100 ml (ekstrak Fe-P) dengan residu sampel tanah 3. Residu sampel tanah 3 dicuci dua kali dengan 25 ml NaCl dan supernatan ditampung ke dalam ekstrak Fe-P.

Data-data yang didapat dari hasil analisis di laboratorium dilakukan uji korelasi regresi dan dibuat grafik untuk melihat hubungan setiap variabel yang ingin diketahui.

3. Hasil dan Pembahasan

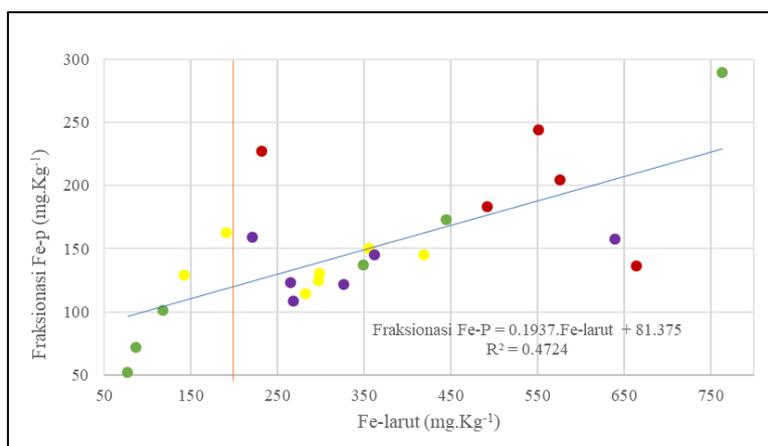
3.1. Hubungan Ketersediaan Fosfor dengan Fe-larut

Uji korelasi menunjukkan hubungan antara variabel terikat P-tersedia dengan variabel bebas Fe-larut di lahan sawah sulfat masam ditunjukkan dengan hasil uji korelasi yang mendapatkan nilai (koefisien determinasi (R^2) = 0,553). Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui peningkatan nilai Fe-larut dalam tanah akan menurunkan ketersediaan fosfor. Uji t pada analisis regresi menunjukkan perbedaan signifikan, hal ini terlihat dari nilai probabilitas <0,05 yaitu 0,001. Unsur hara P pada lokasi yang diteliti tergolong sangat rendah karena ditemukan berada pada kisaran 0,2-10,98 mg.Kg⁻¹ fosfor terbilang sangat rendah jika bernilai kurang dari 10 mg.Kg⁻¹ dan

paling dominan terjadi pada tanah masam, hal ini sesuai dengan pendapat Erisa et al. (2018) yang menyatakan Fraksi Fe-P adalah pengikatan P paling dominan pada tanah masam. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai Fraksionasi Fe-P 52,09-289,31 mg.Kg⁻¹. Menurut Mahmood et al. (2020) perubahan P dari tersedia menjadi tidak tersedia di dalam tanah, karena adanya fiksasi dan faktor-faktornya sebagai berikut: (1) perubahan pH, (2) pengendapan oleh ion Al, Fe, dan Mn, (3) fiksasi oleh hidrous oksida, dan (4) fiksasi oleh mineral liat tanah.

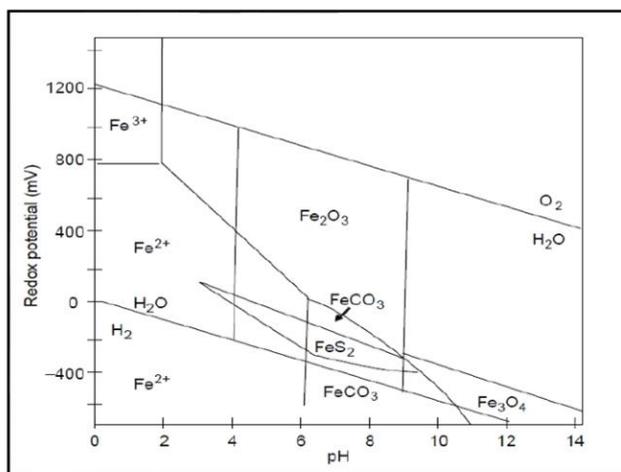
3.3. Hubungan Fraksionasi Fe-P dengan Fe-Larut

Uji korelasi menunjukkan hubungan antara variabel terikat fraksionasi Fe-P dengan variabel bebas Fe-Larut di lahan sawah sulfat masam ditunjukkan dengan hasil uji korelasi yang mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,472; koefisien korelasi (r) = 0,687; r -table = 0,404. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui peningkatan nilai Fe-larut dalam tanah akan meningkatkan Fraksionasi Fe-P. Uji t pada analisis korelasi menunjukkan perbedaan signifikan, hal ini terlihat dari nilai probabilitas <0,05 yaitu 0,001. Fraksionasi Fe-P pada lokasi yang diteliti berada pada kisaran 52,09-289,31 mg.Kg⁻¹ dan konsentrasi Fe-larut ditemukan pada kisaran 76.90-763,79 mg.Kg⁻¹ dengan batas meracun bagi tanaman 200 mg.Kg⁻¹.



Gambar 3. Hubungan antara Fraksionasi Fe-larut dengan Fe- P di lahan sawah sulfat masam. Titik hijau = rendah, titik kuning = sedang, titik merah = tinggi, titik ungu = sangat tinggi

Peningkatan Fe-P yang terjadi disebabkan oleh kandungan tinggi dari Fe yang larut di dalam tanah, hal ini dibuktikan pada (Gambar 3) yang memperlihatkan hubungan antara Fraksi Fe-P dengan Fe-larut. Pada penelitian ini diketahui semakin tinggi kelarutan Fe pada tanah maka semakin tinggi juga fraksionasi Fe-P yang terjadi. Kelarutan Fe di tanah ditentukan oleh minimal dua faktor, yaitu pH tanah dan kondisi redoks tanah (Susilawati dan Fahmi, 2013). Perubahan pH atau redoks tanah akan cenderung merubah jenis besi yang aktif di larutan tanah. Pada kondisi pH tanah yang rendah kelarutan Fe akan meningkat dan menyebabkan semakin banyak daya penyerapan yang terjadi. Secara teoritis pada gambar dibawah, Reddy dan DeLaune (2008) menunjukkan diagram stabilitas besi akibat pengaruh pH dan Eh.



Gambar 4. Diagram stabilitas spesies Fe pada beberapa nilai pH dan Eh (Osseo-Asare et al., 1984).

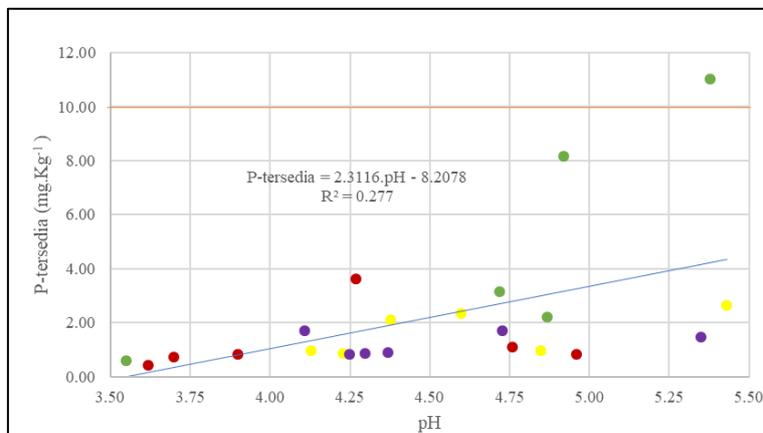
Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa pada pH <2,0 dan Eh >800 mV maka Fe yang aktif adalah Fe³⁺, penurunan nilai Eh pada pH yang sama misalnya pada kisaran 0–800 mV maka Fe yang aktif adalah Fe²⁺ (Reddy dan DeLaune 2008). Pada lokasi yang diteliti ditemukan nilai pH 3,45-5,43 dan Eh -334,8 hingga 2,9 mV hal ini menunjukkan Fe yang aktif pada lokasi yang diteliti didominasi oleh Fe²⁺.

3.4. Hubungan Ketersediaan Fosfor dengan pH Tanah

Uji korelasi menunjukkan hubungan antara variabel terikat P-tersedia dengan variabel bebas pH di lahan sawah sulfat masam ditunjukkan dengan hasil uji korelasi yang mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,277; koefisien korelasi (r) = 0,526; r -table = 0,404. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui peningkatan nilai pH dalam tanah akan meningkatkan ketersediaan Fosfor. Uji t pada analisis korelasi menunjukkan pengaruh signifikan, hal ini terlihat dari nilai probabilitas <0,05 yaitu 0,008. Unsur hara P pada lokasi yang diteliti tergolong sangat rendah karena ditemukan berada pada kisaran 0,2-10,98 mg.Kg⁻¹ fosfor terbilang sangat rendah jika bernilai kurang dari 10 mg.Kg⁻¹ dan nilai pH sebesar 3,45-5,43 dengan kategori sangat masam pada nilai <4,5.

Kemasaman tanah (pH tanah) memiliki hubungan dengan ketersediaan P, semakin masam tanah akan mengurangi ketersediaan P di tanah. Hal ini dikarenakan pH tanah secara tidak langsung berhubungan dengan ketersediaan unsur hara esensial bagi tanaman (Barrow dan Hartemink, 2023). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pH tanah pada lahan sulfat masam didapatkan pada nilai 3,45-5,43. Menurut Balai Penelitian Tanah (2009) kriteria pH tanah dengan nilai 3,5-5 masuk dalam kriteria sangat masam hingga agak masam dengan data sebanyak 45,84% dan 54,16% kriteria masam. Ketersediaan Fosfor di dalam tanah ditentukan oleh banyak faktor, akan tetapi pH merupakan faktor yang paling penting. Pada tanah dengan pH yang rendah, fosfor akan bereaksi dengan ion besi dan aluminium sehingga reaksi tersebut membentuk besi fosfat atau aluminium fosfat, sedangkan pada tanah dengan pH yang tinggi fosfor akan bereaksi dengan ion kalsium yang sulit untuk larut dan tidak dapat digunakan oleh tanaman. Dengan demikian, tanpa memperhatikan pH tanah, pemupukan fosfat akan kurang berpengaruh bagi pertumbuhan tanaman (Isnaini, 2007).

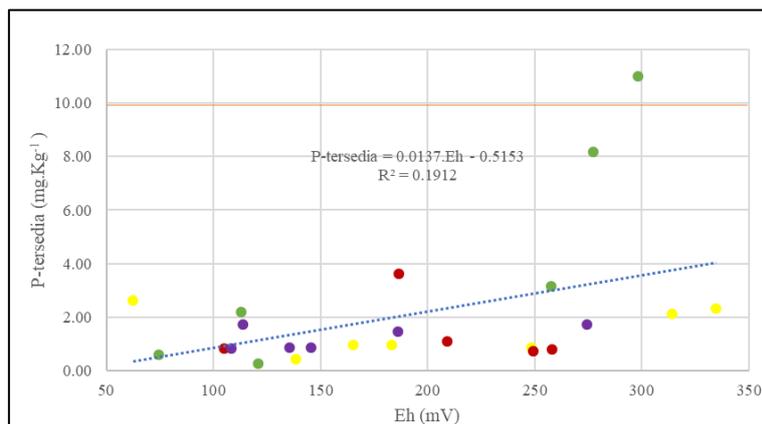
Kisaran pH tanah yang optimum bagi ketersediaan P adalah 5,5-6,5. Tingginya tingkat kemasaman tanah menyebabkan kelarutan ion Fe²⁺, Al³⁺ dan Mn²⁺ di dalam tanah bertambah dan dapat bersifat meracuni bagi tanaman (Noor et al., 2019). Kemasaman tanah yang rendah juga menyebabkan P-tersedia berkurang akibat diikat oleh Fe atau Al dalam bentuk Fe-P atau Al-P, sehingga terjadi kekurangan unsur hara P di dalam tanah.



Gambar 5. Hubungan antara P-tersedia dengan pH tanah di lahan sawah sulfat masam. Titik hijau = rendah, titik kuning = sedang, titik merah = tinggi, titik ungu = sangat tinggi

3.5. Hubungan Ketersediaan Fosfor dengan Eh Tanah

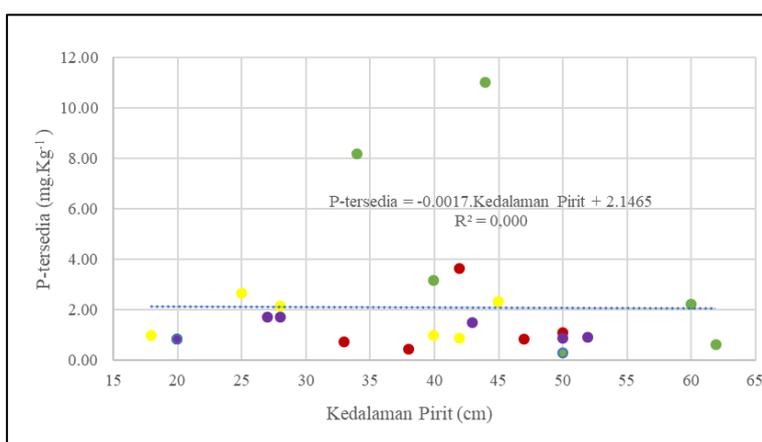
Uji korelasi menunjukkan hasil tidak terdapat hubungan antara variabel terikat P-tersedia dengan variabel bebas Eh di lahan sawah sulfat masam ditunjukkan dengan hasil uji korelasi yang mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,159 ; koefisien korelasi (r) = 0,399 ; r -table = 0,404. Uji t pada analisis regresi menunjukkan perbedaan tidak signifikan, hal ini terlihat dari nilai probabilitas >0,05 yaitu 0,053. Unsur hara P pada lokasi yang diteliti tergolong sangat rendah karena ditemukan berada pada kisaran 0,2-10,98 mg.Kg⁻¹ fosfor terbilang sangat rendah jika bernilai kurang dari 10 mg.Kg⁻¹ dan nilai Eh sebesar 2,9-334,8 mV.



Gambar 6. Hubungan antara P-tersebut dengan Eh tanah di lahan sawah sulfat masam. Titik hijau = rendah, titik kuning = sedang, titik merah = tinggi, titik ungu = sangat tinggi

3.6. Hubungan Ketersediaan Fosfor dengan Kedalaman Pirit

Uji korelasi menunjukkan hasil tidak terdapat hubungan antara variabel terikat P-tersebut dengan variabel bebas kedalaman pirit di lahan sawah sulfat masam ditunjukkan dengan hasil uji korelasi yang mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,000; koefisien korelasi (r) = 0,008; r -table = 0,404. Uji t pada analisis korelasi menunjukkan pengaruh tidak signifikan, hal ini terlihat dari nilai probabilitas > 0,05 yaitu 0,970. Unsur hara P pada lokasi yang diteliti tergolong sangat rendah karena ditemukan berada pada kisaran 0,2-10,98 mg.Kg⁻¹ fosfor terbilang sangat rendah jika bernilai kurang dari 10 mg.Kg⁻¹ dan penemuan pirit pada kedalaman 16-62 cm.



Gambar 7. Hubungan antara P-tersebut dengan kedalaman pirit di lahan sawah sulfat masam. Titik hijau = rendah, titik kuning = sedang, titik merah = tinggi, titik ungu = sangat tinggi

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1). Pada lahan sulfat masam terdapat hubungan antara P-tersebut dengan kelarutan Fe-larut, Fe-P dan pH tanah, akan tetapi tidak berhubungan dengan Eh tanah dan kedalaman pirit. (2). Kelarutan Fe yang tinggi menyebabkan tingginya ikatan Fe-P sehingga P yang tersedia sangat rendah pada kondisi tanah yang sangat masam hingga masam.

Daftar Pustaka

- BBSDLP. 2015. Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia, Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan. Laporan Teknis Nomor 1. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Petunjuk Teknis Edisi 2: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. 234p.
- Barrow, N.J., Hartemink, A.E. 2023. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil* 487, 21-37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>

- Chulo, F., Laekemariam, F., Kiflu, A., Gidago, G., Getaneh, L. 2023. Soil phosphorus fractions and their quantity in acidic luvisols under lime rates in Ethiopia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 54(2), 243-257. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2112214>
- Erisa, D., Zuraida, M. Khalil. 2018. Kajian Fraksionasi Fosfor Pada beberapa Pola Penggunaan Lahan Kering Ultisol di Desa Julin Jantho Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 3(2), 391-399. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v3i2.7499>
- Isnaini, S. 2007. Kandungan fosfor dan pH tanah akibat pemupukan nitrogen dan fosfor pada Ultisols dan Inceptisols. *Agrista* 11(1), 14-20.
- Karimian, N., Johnston, S.G., Edward. E.D. 2018. Iron and sulfur cycling in acid sulfate soil wetlands under dynamic redox conditions: A review *Chemosphere*, 197, 803-816. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.096>
- Kiflu, A., Beyene, S. dan Jeff, S. 2017. Fractionation and Availability of phosphorus in acid soils of Hageresalam, Southern Ethiopia under different rates of lime. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0105-9>
- Kim, J.H., Kim, S.J., Nam, I.H. 2021. Effect of treating acid sulfate soils with phosphate solubilizing bacteria on germination and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(17), 8919. <https://doi.org/10.3390/ijerph18178919>
- Mahmood, M., Tian, Y., Ma, Q., Ahmed, W., Mehmood, S., Hui, X., Wang, Z. 2020. Changes in phosphorus fractions and its availability status in relation to long term p fertilization in loess plateau of China. *Agronomy* 10(11), 1818. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111818>
- Muhammad, N., Zvobgo, G., Guo-ping, Z. 2019. A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. *Journal of Integrative Agriculture* 18(7), 1518-1528. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61991-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61991-4)
- Osseo-Asare, K., Xue, T., Ciminelli, V.S.T. 1984. Soluttion chemistry of cyanide leaching systems. *Precious Metals: Mining Extraction and Process*, AIME, pp.173-197.
- Reddy, K.R., DeLaune, R.D. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands; Science and Applications*. CRC Press. Boca Raton.
- Susilawati, A., Fahmi, A. 2013. Dinamika besi pada tanah sulfat masam yang ditanami padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 7(2), 67-75.
- Sutandi, A., Nugroho, B., Sejati, B. 2011. Hubungan kedalaman pirit dengan beberapa sifat kimia tanah dan produksi kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 13(1), 21-24. <https://doi.org/10.29244/jitl.13.1.21-24>