

## Perubahan pH, Fe-larut, dan P-tersedia di Tanah Sulfat Masam Aktual (Sulfaquept) yang Diberi Pupuk Kandang Sapi dan Genangan Air

Noor Soleha, Bambang Joko Priatmadi, 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: [ztmariana@ulm.ac.id](mailto:ztmariana@ulm.ac.id)

### Informasi Artikel

Received 18 Mei 2023

Accepted 14 Juli 2023

Published 31 Juli 2023

Online 31 Juli 2023

### Key-words:

Cow manure; Inundation height; Soil pH; Dissolved-Fe; Available P

### Abstract

Organic matter application and water management were frequently applied to prevent the oxidation of pyrite in acid sulfate soils. The purpose of this study was to determine the effect of cow manure application with varying height of inundation on soil pH, soluble-Fe, and available P of acid sulfate soils. This study employed factorial treatments and in a completely randomized design. The first factor was the dosage of cow manure: 0, 10, and 20 t ha<sup>-1</sup>, while the second factor was various water depths: 5, 10, and 15 cm. Results of study showed that the interaction of cow manure and water depth did not affect soil pH, but single factor of the treatments (cow manure and water depth) significantly affected soil pH. The interaction of cow manure and water depths did not significantly decrease the solubel-Fe in the fourth week. The interaction of cow manure and water depths significantly increased P-availability in the fourth week. Results of this study demonstrated that cow manure application and water depth improved soil pH and P-availability of acid sulfate soils.

### 1. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi yang pesat meningkatkan persaingan penggunaan sumber daya lahan pertanian dan non pertanian, khususnya di Jawa. Akibatnya, lahan pertanian digunakan untuk keperluan non-pertanian, sehingga areal produksi Jawa berkurang (Susilawati et al., 2014). Situasi ini akan berdampak buruk karena Jawa memasok sebagian besar kebutuhan beras bangsa (Suastika et al., 2014). Oleh karena itu, lahan di luar Jawa yang kurang produktif harus dikembangkan menjadi lahan pertanian yang menguntungkan. Salah satu kawasan yang dapat dimanfaatkan sebagai lahan pertanian adalah lahan rawa. Lahan rawa dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan sistem airnya yaitu lahan lebak dan lahan pasang surut (Fahmi, 2019).

Lahan pasang surut merupakan lahan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan sungai (Suryana, 2016). Sebagian besar tanahnya berasal dari bahan induk kaya pirit (FeS<sub>2</sub>) yang disebut tanah sulfat masam (Priatmadi dan Haris, 2008). Salah satu kendala dalam pemanfaatan budidaya pertanian di daerah tersebut adalah pengelolaan air menyebabkan dinamika tanah dipengaruhi oleh reduksi dan oksidasi senyawa pirit. Tanah dalam keadaan reduktif saat tergenang/jenuh air dan sebaliknya keadaan oksidatif pada kondisi kering (Ar-Riza dan Alkasuma, 2008; Priatmadi dan Haris, 2008; Susilawati dan Fahmi, 2013; Suastika et al., 2014).

Pirit dalam tanah sulfat masam stabil saat tereduksi dan berbahaya saat teroksidasi karena akan membentuk senyawa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dapat meningkatkan kemasaman tanah dan menurunkan status hara, terutama unsur P (Susilawati dan Fahmi, 2013). Selain itu, oksidasi pirit dapat meningkatkan kelarutan unsur beracun seperti aluminium dan besi. Pencegahan oksidasi pirit dapat dilakukan dengan mengatur drainase seperti mengatur ketinggian air di saluran dan pemberian bahan organik (Noyaa et al., 2014; Nurzakiah et al., 2021).

Pengaturan ketinggian air bertujuan untuk mempertahankan tanah dalam keadaan reduktif, tetapi tanah yang dibiarkan tergenang terus menerus dapat mengalami perubahan kimia dan elektrokimia yang dapat membahayakan pertumbuhan tanaman, seperti penurunan potensial redoks, pH tinggi, dan reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> (Nursyamsi dan Suryadi, 2000; Noyaa et al., 2014). Menghindari penurunan potensial redoks yang semakin rendah dan menghambat terjadinya reaksi pemasaman pirit, maka dapat dilakukan dengan aplikasi bahan organik (Shamshuddin et al, 2004; Susilawati dan Fahmi, 2013).

Aplikasi bahan organik diharapkan mengurangi oksidasi senyawa pirit. Jika oksidasi pirit terhambat, proses pengasaman tanah juga akan terhambat (Priatmadi dan Haris, 2008). Bahan organik yang dapat digunakan berasal dari limbah ternak yaitu pupuk kandang sapi (Winarni et al., 2013). Hasil penelitian Daeng et al. (2022) menunjukkan bahwa pupuk kandang sapi mengandung hara makro seperti N 0,40%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,20%, K<sub>2</sub>O 0,10 % dan hara mikro lainnya. Hasil dekomposisi pupuk kandang sapi menghasilkan asam-asam organik yang dapat mereduksi aktivitas Al dan Fe melalui proses kelasi sehingga melepaskan P yang terikat. Menurut Santoso et al (2007) pada kondisi tergenang yang diimbangi dengan aplikasi pupuk kandang sapi sebanyak 20 t ha<sup>-1</sup> mampu meningkatkan P tersedia. Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan pemberian pupuk kandang sapi dengan berbagai tinggi genangan untuk mengetahui perubahan pH, kelarutan Fe dan ketersediaan P di tanah sulfat masam.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai Maret 2022 di Rumah Kaca Jurusan Tanah dan Laboratorium Fisika, Kimia dan Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat. Bahan yang digunakan adalah tanah sulfat masam dengan lapisan sulfida dari Desa Sungai Rangas, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan pada kedalaman 0-60 cm, air sungai, pupuk kandang sapi dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%. Alat yang digunakan adalah bor tanah, cangkul, plastik, karung, paralon, GPS, suntikan, penggaris, timbangan, alat tulis, neraca analitik, pH meter, dan spektrofotometer.

### 2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan sembilan kombinasi perlakuan, masing-masing diulang sebanyak tiga kali sehingga menghasilkan 27 pot percobaan (Tabel 1). Faktor I adalah pupuk kandang sapi, yaitu P<sub>0</sub> = 0 t ha<sup>-1</sup> (setara 0 g pot<sup>-1</sup>); P<sub>1</sub> = 10 t ha<sup>-1</sup> (setara 5,37 g pot<sup>-1</sup>); P<sub>2</sub> = 20 t ha<sup>-1</sup> (setara 10,75 g pot<sup>-1</sup>). Faktor II adalah tinggi genangan, yaitu T<sub>1</sub> = 5 cm; T<sub>2</sub> = 10 cm; T<sub>3</sub> = 15 cm.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan pupuk kandang sapi dan tinggi genangan

Pupuk kandang sapi (P)	Tinggi Genangan (T)		
	T1	T2	T3
0 t ha <sup>-1</sup>	P0T1	P0T2	P0T3
10 t ha <sup>-1</sup>	P1T1	P1T2	P1T3
20 t ha <sup>-1</sup>	P2T1	P2T2	P2T3

### 2.2. Pelaksanaan Penelitian

Pengambilan tanah dilakukan pada tiga titik sampel tanah. Setelah diambil pada tiga titik sisakan sedikit untuk penelitian awal dan sisanya di komposit. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah basah yang mempunyai lapisan sulfida. Saat di lapangan, dilakukan identifikasi pirit terlebih dahulu dengan cara: sampel tanah ditetesi dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%. Jika terjadi pembuihan berwarna kekuningan, berarti tanah tersebut mengandung pirit. Sampel tanah yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam plastik berukuran besar dan digenangi air secukupnya menggunakan air sungai di sekitar pengambilan sampel tanah. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah tanah teroksidasi. Plastik yang berisi sampel tanah dimasukkan ke dalam karung agar memudahkan dalam pengangkutan ke rumah kaca.

Tabel 2. Hasil analisis tanah awal, pupuk kandang sapi dan air di lokasi pengambilan sampel tanah

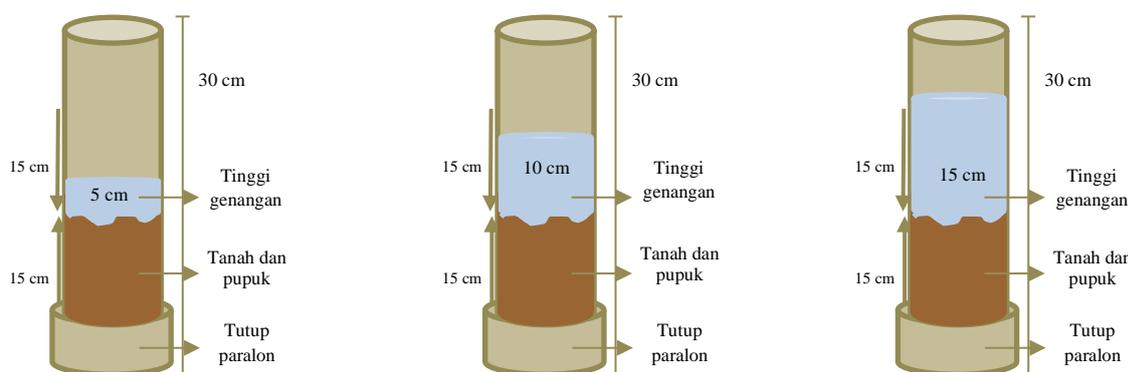
Analisis	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Tanah	pH	3,01	-	Sangat masam
	P-tersedia	2,89	ppm	Sedang
	Fe-larut	2546,87	ppm	Sangat tinggi
	BD	0,93	g/cm <sup>3</sup>	-
Pupuk	C-organik	13,16	%	Sangat tinggi
	N-total	1,09	%	Sangat tinggi
	C/N rasio	12,12	-	Sedang
Air	pH	7,19	-	Netral
	pH	6,68	-	Netral

Sumber: Balai Penelitian Tanah (2009) .

Analisis awal sampel tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisiko-kimiawi (Tabel 2), yaitu analisis sifat kimia tanah: pH tanah (metode *electrode glass*), Fe-larut (metode spektrofotometer ekstraksi amonium asetat pH

4,8 1 N) dan P-tersedia (metode Bray I). Selain itu, dilakukan analisis sifat fisika tanah, yaitu kerapatan isi/*bulk density* (*ring method*). Pupuk kandang sapi dianalisis untuk menentukan pH (metode *electrode glass*), C-organik (metode titrasi), kandungan N (metode Kjeldahl), dan rasio C/N (dihitung dari kandungan C-organik dengan N-total). Analisis air sungai berupa pengamatan pH air.

Sampel tanah basah dikompositkan, masing-masing ditimbang 1 kg, dan ditempatkan dalam paralon. Paralon berdiameter tiga inci (7,62 cm) dan tinggi 30 cm, dengan penutup paralon di bagian bawahnya (selanjutnya disebut pot percobaan) (Gambar 1). Pupuk kandang sapi dimasukkan ke setiap pot percobaan dengan dosis yang telah ditentukan. Aduk agar pupuk dan tanah tercampur merata. Setiap pot percobaan digenangi air sungai pada ketinggian genangan 5 cm, 10 cm, dan 15 cm (di atas permukaan tanah). Proses ini diulang tiga kali dan masing-masing pot diberi label. Sampel tanah kemudian diinkubasi selama empat minggu. Tanah harus dalam kondisi tergenang di atas permukaan tanah selama percobaan, sehingga diharapkan tidak ada proses oksidatif. Pengecekan tinggi genangan air dilakukan setiap dua hari sekali dan jika tinggi genangan air menurun maka dilakukan penambahan air sesuai dengan ketinggian air sebelumnya. Pengukuran terhadap parameter seperti pH dilakukan setiap seminggu sekali dan pengukuran Fe larut dan P-tersedia dilakukan setelah inkubasi (minggu keempat).



Gambar 1. Ilustrasi perlakuan dalam pot percobaan

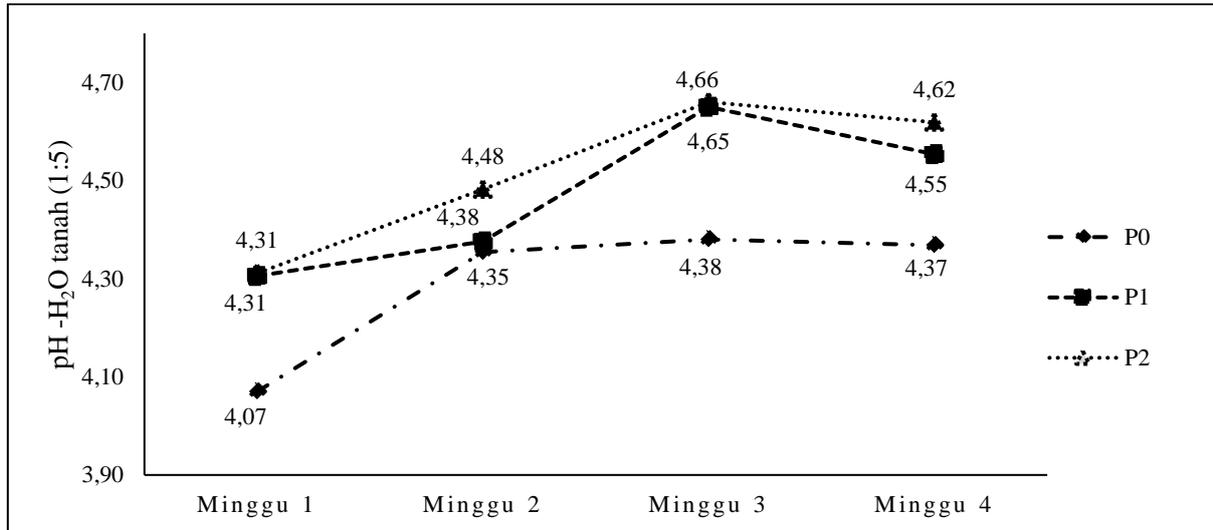
Variabel yang diamati setelah perlakuan diinkubasi adalah pH tanah (metode *electrode glass* ( $H_2O$  1:5)), Fe-larut (metode ekstraksi amonium asetat 1N pH 4,8 dan P-tersedia (metode Bray I). Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji F-hitung. Jika terdapat pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji F, dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf 5%.

### 3. Hasil dan Pembahasan

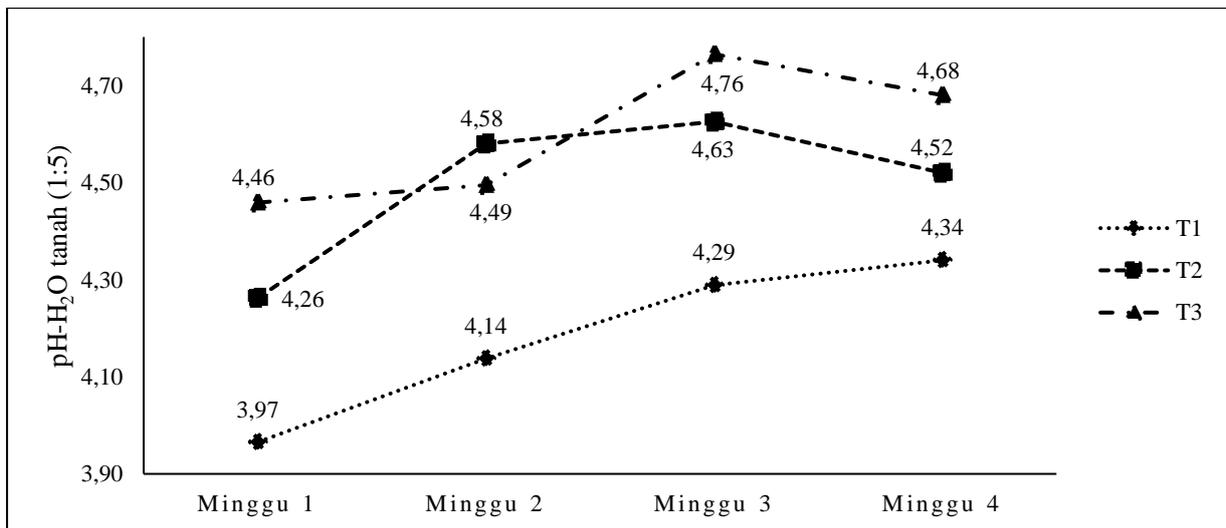
#### 3.1. Kemasaman tanah

Kemasaman tanah untuk setiap pemberian pupuk kandang sapi dan tinggi genangan selama empat minggu (Gambar 2 dan Gambar 3). Hasil analisis ragam menunjukkan tidak ada pengaruh nyata pada interaksi antara pupuk kandang sapi dan tinggi genangan dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4, tetapi tiap faktor tunggal memiliki pengaruh nyata terhadap peningkatan pH (Gambar 4 dan Gambar 5). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi pupuk kandang sapi dengan tinggi genangan pada minggu ke-1 dan minggu ke-2 tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan pH, namun perlakuan penggenangan berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan pH tanah. Hasil uji beda nilai tengah menunjukkan bahwa perlakuan tinggi genangan 10 cm dan 15 cm di atas permukaan tanah berbeda nyata dengan perlakuan tinggi genangan 5 cm terhadap pH tanah pada minggu ke-1 dan minggu ke-2.

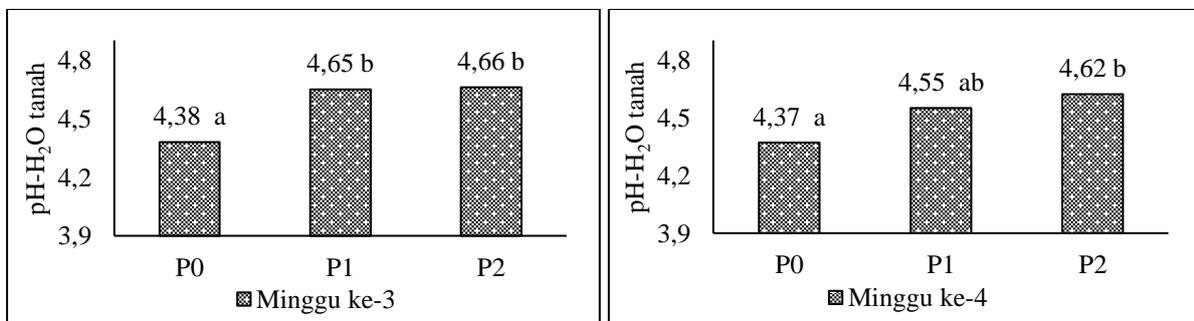
Dari hasil analisis ragam menunjukkan pada minggu ke-3 dan ke-4 tidak ada interaksi antara pupuk kandang sapi dan tinggi genangan, namun masing-masing faktor berpengaruh terhadap kenaikan pH tanah sulfat masam. Pemberian pupuk kandang sapi menunjukkan pengaruh nyata dan perlakuan tinggi genangan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata. Hasil uji beda nilai tengah menunjukkan bahwa pemberian pupuk kandang sapi 10 dan 20 t ha<sup>-1</sup> sangat berbeda dengan 0 t ha<sup>-1</sup> dan perlakuan tinggi genangan 10 dan 15 cm di atas permukaan tanah sangat berbeda dengan tinggi genangan 5 cm terhadap pH tanah pada minggu ke-3. Hasil uji beda nilai tengah menunjukkan bahwa pada minggu ke-4, pemberian pupuk kandang sapi 20 t ha<sup>-1</sup> sangat berbeda nyata dengan 0 t ha<sup>-1</sup> dan perlakuan tinggi genangan 15 cm sangat berbeda nyata dengan tinggi genangan 5 cm terhadap peningkatan pH tanah.



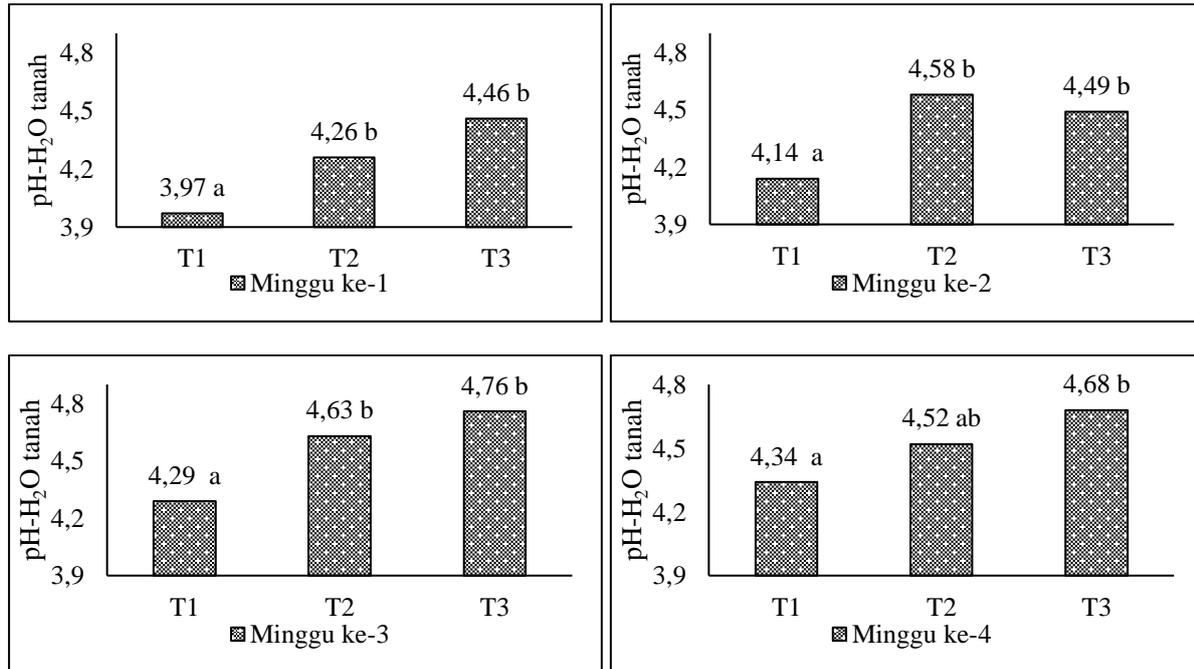
Gambar 2. Nilai pH tanah pada pemberian pupuk kandang sapi dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. P0: pupuk kandang sapi 0 t ha<sup>-1</sup>, P1: pupuk kandang sapi 10 t ha<sup>-1</sup>, P2: pupuk kandang sapi 20 t ha<sup>-1</sup> )



Gambar 3. Nilai pH tanah pada perlakuan tinggi genangan dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. T1: tinggi genangan 5 cm, T2: tinggi genangan 10 cm, T3: tinggi genangan 15 cm)

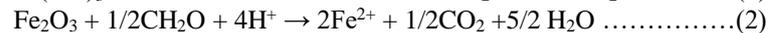
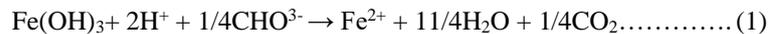


Gambar 4. Pengaruh pupuk kandang sapi terhadap pH tanah minggu ke-3 dan ke-4. P0: pupuk kandang sapi 0 t ha<sup>-1</sup>, P1: pupuk kandang sapi 10 t ha<sup>-1</sup>, P2: pupuk kandang sapi 20 t ha<sup>-1</sup>. Diagram batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji DMRT 5%



Gambar 5. Pengaruh tinggi genangan terhadap pH tanah minggu ke-1 sampai minggu ke-4. T1: Tinggi genangan 5 cm, T2: Tinggi genangan 10 cm, T3: Tinggi genangan 15 cm). Diagram batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji DMRT 5%

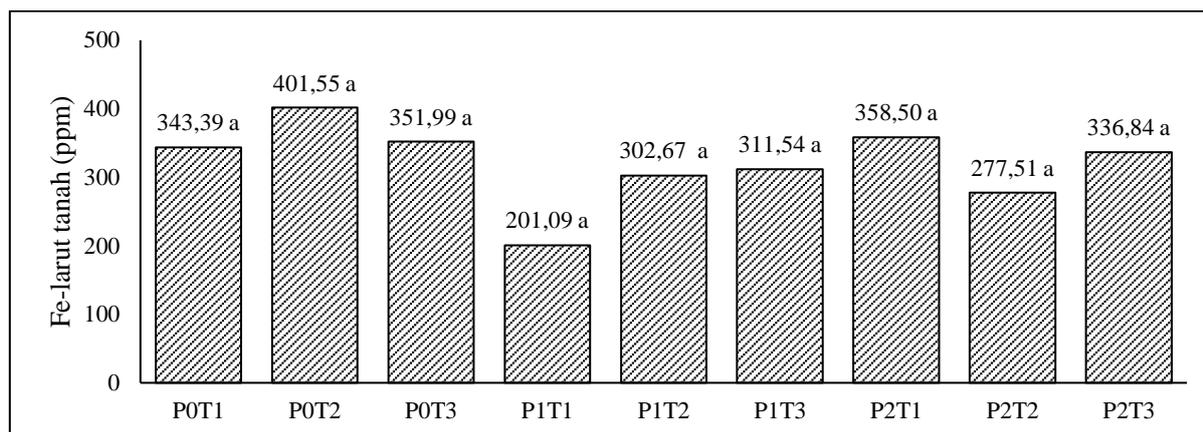
Pemberian pupuk kandang sapi dengan berbagai tinggi genangan dapat mempengaruhi pH tanah. Peningkatan nilai pH tanah terjadi dari minggu ke-1 sampai ke-4. Perubahan pH tersebut dikarenakan hasil dekomposisi melepaskan gugus hidroksida yang dapat menurunkan konsentrasi ion  $H^+$  (Cyio 2003; 2008). Keberadaan bahan organik yang diberikan pada tanah yang tergenang selama beberapa minggu dapat meningkatkan pH tanah karena melepaskan ion  $OH^-$  saat proses reduksi (Cyio 2003; 2008). Reaksi yang menggambarkan peranan senyawa organik dalam proses reduksi besi dapat dilihat pada persamaan reaksi (1) dan (2) (Fahmi et al., 2019).



Penurunan pH terjadi pada minggu keempat, diduga terjadi proses bufer (daya sangga tanah) terhadap pH tanah karena diproduksi asam organik. Stevenson (1982) menyatakan bahan organik bertindak sebagai *buffering capacity* sehingga dapat menyesuaikan pH lingkungan. Kondisi tersebut menyebabkan pH tanah dapat meningkat atau menurun.

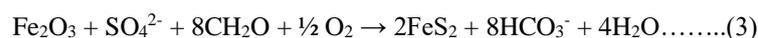
### 3.2. Kelarutan besi ( $Fe^{2+}$ )

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara pemberian pupuk kandang sapi dan tinggi genangan air pada minggu ke-4 tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan kelarutan besi ( $Fe^{2+}$ ) dalam tanah (Gambar 6). Keberadaan Fe tergantung pada kondisi pH dan redoks tanah. Pemberian pupuk kandang sapi dan penggenangan akan mempengaruhi nilai potensial redoks. Reaksi redoks besi berkaitan erat dengan jumlah dan kualitas dari bahan organik. Tingkat reduksi dipengaruhi oleh banyaknya bahan organik, suhu tanah dan kadar Fe aktif (Kusumaningtyas et al., 2017). Pemberian bahan organik mentah dapat meningkatkan terjadinya reduksi besi sehingga konsentrasi  $Fe^{2+}$  meningkat. Berbeda dengan pemberian bahan organik yang sudah matang akan menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$ . Kondisi tersebut dikarenakan proses kelatisasi lebih kuat dibanding proses reduksi besi (Susilawati dan Fahmi, 2013).

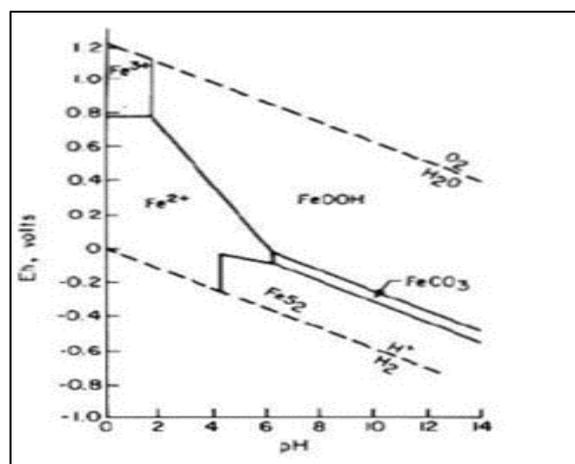


Gambar 6. Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi dan tinggi genangan terhadap Fe-larut (ppm) minggu ke-4. POT1 = Pupuk 0 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 5 cm; POT2 = Pupuk 0 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 10 cm; POT3 = Pupuk 0 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 15 cm; P1T1 = Pupuk 10 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 5 cm; P1T2 = Pupuk 10 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 10 cm; P1T3 = Pupuk 10 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 15 cm; P2T1 = Pupuk 20 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 5 cm; P2T2 = Pupuk 20 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 10 cm; P2T3 = Pupuk 20 t ha<sup>-1</sup> dan genangan 15 cm). Diagram batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda pada taraf uji DMRT 5%

Saat kondisi reduksi, peningkatan pH tanah akan diikuti dengan penurunan kelarutan Fe dan mulai terjadi pembentukan senyawa besi sulfida (FeS<sub>2</sub>) (Gambar 7). Pembentukan pirit juga dipengaruhi oleh bahan organik seperti pada persamaan reaksi (3) di bawah ini:



Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi toksisitas besi tanaman padi bervariasi. Toksisitas besi dipengaruhi oleh tingginya kandungan Fe-larut dan pH larutan. Batas maksimum gejala keracunan besi pada tanaman padi sekitar 300 sampai 500 ppm (Sahrawat, 2000). Hasil penelitian Sulaiman et al (1997), gejala toksisitas besi di dalam tanah (ekstraksi 1N NH<sub>4</sub>OAC pH 4,8) pada lahan pasang surut sebesar 260 ppm.



Gambar 7. Diagram stabilitas Fe pada nilai pH dan Eh yang berbeda (Kolling et al., 1999; Bohn et al., 2000).

### 3.3. Ketersediaan P Tanah

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara pemberian pupuk kandang sapi dengan tinggi genangan air pada minggu ke-4 sangat berpengaruh nyata terhadap peningkatan P-tersedia. Hasil uji beda nilai tengah menunjukkan perlakuan P2T3 memiliki nilai tertinggi dan terendah pada perlakuan POT3 (Gambar 8.). Kombinasi pupuk kandang sapi dan tinggi genangan mampu meningkatkan P-tersedia dari kriteria sangat rendah menjadi sedang-sangat tinggi.



- Fahmi, A., Radjagukguk, B., Purwanto, B.H. 2019. Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *Journal of Tropical Soils* 14(2), 119-125.
- Kaya, E., Buton, A. 2020. Pengaruh kompos ela sagu dengan mikroorganisme antagonis terhadap kemasaman, P-tersedia dan N-total tanah pada Ultisols. *Jurnal Budidaya Pertanian* 16(2), 118-123.
- Kusumaningtyas, A.S., Cahyono, P., Sudarto, S., Suntari, R. 2017. Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap pH, Eh, Fe, Al, Mn dan P terlarut pada tanaman nanas klon GP3 di Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 2(1), 103-109.
- Kolling, M., Ebbert, M., Schultz, H.D. 1999. A Novel Approach to The Presentation of pe/pH Diagram dalam Schuring, J., Scultz, H.D., Fischer, W.R., Botcher, J., Duijnsveld, W.H.M. (Editors). *Redox; Fundamentals, Processes and Applications*. Springer New York, USA. 251 p.
- Lakitan, B., Gofar, N. 2013. Kebijakan inovasi teknologi untuk pengelolaan lahan suboptimal berkelanjutan. In prosiding seminar nasional lahan suboptimal, intensifikasi pengelolaan lahan suboptimal dalam rangka mendukung kemandirian pangan nasional, Palembang
- Noyaa, A.I., Ghulamahdi, M., Sopandie, D., Sutandi, A., Melati, M. 2014. Pengaruh kedalaman muka air dan amelioran terhadap produktivitas kedelai di lahan sulfat masam. *Jurnal Pangan* 23(2), 120-133.
- Nursyamsi, D., Suryadi, M.E. 2000. Pengaruh drainase terputus dan pemupukan terhadap pH, eH, dan Mn pada sawah baru di ultisol Bandar Abung (lampung) dan Tapin (KalSel). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 3(2), 8-17.
- Priatmadi, B.D., Haris, A. 2008. Reaksi pemasaman senyawa pirit pada tanah rawa pasang surut. *Journal of Tropical Soils* 14(1), 19–24. [doi.org/10.5400/jts.2009.v14i1.19-24](https://doi.org/10.5400/jts.2009.v14i1.19-24)
- Purba, M., Fauzi, F., Sari, K. 2015. Pengaruh pemberian fosfat alam dan bahan organik pada tanah sulfat masam potensial terhadap P-tersedia tanah dan produksi padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara* 3(3), 105094. <https://doi.org/10.32734/jaet.v3i3.10937>
- Sahrawat, K.L. 2000. Elemental composition of the rice plant as affected by iron toxicity under field conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 2819-2827.
- Santoso, D., Agus, F., Wahyunto. 2007. *Tanah Sawah Bukaian Baru*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 182p.
- Shamshuddin, J., Muhrizal, S., Fauziah, I., Van Ranst, E. 2004. A laboratory study of pyrite oxidation in acid sulfate soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35(1-2), 117-129.
- Stevenson, F.T. 1982. *Humus Chemistry*. John Wiley and Sons, New York.
- Suastika, I.W., Hartatik, W., Subiksa, I.G.M. 2014. Karakteristik dan teknologi pengelolaan lahan sulfat masam mendukung pertanian ramah lingkungan, pengelolaan lahan pada berbagai ekosistem mendukung pertanian ramah lingkungan penelitian dan pengembangan pertanian. Kementerian Pertanian. *Gan.*, (1986), pp. 95–120.
- Sulaiman, A., Arifin, Nohoi, G. 1997. Studi korelasi pertumbuhan tanaman padi dengan besi tanah. *J. Kalimantan Agrikultura* 2(4):1-14.
- Suryana, S. 2016. Potensi dan peluang pengembangan usaha tani terpadu berbasis kawasan di lahan rawa. *Jurnal penelitian dan pengembangan pertanian* 35(2), 57-68. [doi.org/10.21082/jp3.v35n2.2016.p57-68](https://doi.org/10.21082/jp3.v35n2.2016.p57-68)
- Susilawati, A., Fahmi, A. 2013. Dinamika besi pada tanah sulfat masam yang ditanami padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 7(2), 67–75.
- Susilawati, A., Nursyamsi, D., Syakir, M. 2016. Optimalisasi penggunaan lahan rawa pasang surut mendukung swsembada pangan nasional. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 10(1), 51-64.
- Winarni, E., Ratnani, R., Riwayati, I. 2013. Pengaruh jenis pupuk organik terhadap pertumbuhan tanaman kopi. *Jurnal Momentum Unwahas*, 9(1), 114426.