

Chemical Properties of Acid Sulfate Soils Across Sulfuric Horizon Depths and Their Effects on Oil Palm Root Development

Hari Gunawan*, Ingrid Ovie Yosephine, Muhammad Rizky Andrian

Department of Plantation Cultivation, Faculty of Vocational Studies, Indonesian Palm Oil Institute of Technology, Medan, Indonesia

ABSTRACT

A problem encountered in oil palm cultivation on tidal acid sulfate soils is the pyrite content. If pyrite in the soil oxidizes, it will increase soil acidity and metal content, thereby impacting oil palm root growth. This study aims to analyze the chemical properties of acid sulfate soils at various depths within the sulfuric horizon and their impact on oil palm root development at PT. Sumber Asih Kebun Paya Rambe II, Aceh Tamiang. The study used a soil survey method with an exploratory-descriptive approach, including soil profile identification and the collection of 32 composite soil samples at four depths (0–20, 20–40, 40–60, 60–80 cm) in two blocks with different sulfuric horizon depths. pH analysis was performed using a pH meter in a soil-water suspension (1:2.5), while Al and Fe contents were determined using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) after wet digestion. To evaluate root development, 8 root samples were taken purposively and analyzed using the oven-dry weight method (105°C). The results showed the lowest pH at 60–80 cm, namely 4.5 (Block 27) and 5.0 (Block 24). The highest Al content was also found in the same layer, namely 5.2572% and 3.7582%, while the highest Fe content was at a depth of 0–20 cm, respectively, 3.1274% and 2.8684%. Root development decreased significantly in locations with shallow sulfuric horizons, indicated by a decrease in root dry weight of 34–38% compared to locations with deeper sulfuric horizons. This study confirms that the position of the sulfuric horizon directly affects soil acidity, Al mobilization, and reduced oil palm root growth in acid sulfate soils.

ARTICLE INFO

Received : November 4, 2026
Revised : December 11, 2026
Accepted : February 24, 2026
Published : March 10, 2026

KEYWORDS

Acid sulfate soil, oil palm roots, soil chemistry

*CORRESPONDENCE

hari_gunawan@itsi.ac.id

LICENSE



The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0).

DOI

[10.25077/jrp.7.1.1-8.2026](https://doi.org/10.25077/jrp.7.1.1-8.2026)

PENDAHULUAN

Lahan potensial bagi tanaman kelapa sawit telah mengalami pengurangan seiring dengan berkembangnya tanaman kelapa sawit di Indonesia yang sangat pesat. Perluasan areal perkebunan

kelapa sawit ke lahan-lahan marjinal tentu bukanlah suatu pilihan, namun merupakan suatu tuntutan yang disebabkan semakin terbatasnya lahan lahan yang lebih sesuai. Salah satunya tanah sulfat masam (Sutarta, 2024).

Tanah sulfat masam (acid sulfate soils) merupakan salah satu lahan marginal yang banyak dimanfaatkan untuk pengembangan kelapa sawit seiring terbatasnya lahan subur. Tanah ini dicirikan oleh keberadaan sulfidic material, terutama mineral pirit (FeS_2), yang terbentuk di lingkungan tergenang dan anaerob melalui reduksi sulfat (SO_4^{2-}) menjadi H_2S dan reaksinya dengan Fe^{2+} . Selama tetap dalam kondisi anaerob, pirit bersifat stabil dan tidak menimbulkan masalah bagi tanaman.

Ketika lahan mengalami drainase atau penurunan muka air tanah, pirit terpapar oksigen dan teroksidasi menjadi Fe^{3+} serta asam sulfat (H_2SO_4). Proses ini membentuk sulfuric horizon, yaitu lapisan sangat masam ($\text{pH} < 4$) yang ditandai oleh peningkatan kelarutan Al^{3+} dan $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. Kondisi kimia ekstrem pada lapisan ini menjadi faktor pembatas utama bagi pertumbuhan tanaman, terutama pada sistem perakaran.

Kedalaman sulfuric horizon sangat menentukan kesehatan akar kelapa sawit. Bila lapisan ini dangkal ($< 40\text{--}50\text{ cm}$), akar segera bersentuhan dengan zona toksik yang kaya Al^{3+} sehingga menghambat pemanjangan, mengurangi diameter, serta menurunkan kemampuan penyerapan hara. Sebaliknya, jika horizon sulfurik berada dalam ($> 80\text{ cm}$), akar masih dapat berkembang pada lapisan atas yang lebih netral dan tidak toksik.

Penelitian mengenai hubungan langsung antara kedalaman sulfurik, perubahan sifat kimia tanah pada tiap lapisan, dan respons akar kelapa sawit masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sifat kimia tanah sulfat masam pada berbagai kedalaman dan mengevaluasi dampaknya terhadap perkembangan akar kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di kebun PT. Sumber Asih Kebun Paya Rambe II, Kec. Seuruway, Kab. Aceh Tamiang, Provinsi Aceh. Analisis sampel tanah dilakukan di laboratorium PT. Socfindo. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari s/d Mei 2025.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pendekatan Deskriptif Kuantitatif dengan mengumpulkan data primer lalu dianalisis berdasarkan studi pustaka. Pengamatan di areal piringan tanaman kelapa

sawit. Sampel yang di peroleh lalu dilakukan analisis sifat kimia tanah di laboratorium.

Bahan yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu sampel tanah yang diambil pada kedalaman 0-20; 20-40; 40-60; 60- 80 cm dan sampel akar diambil dari tanah yang di gali sedalam 20 cm sebanyak 4 lapisan menggunakan bor tanah.

Analisis karakteristik kimia tanah dilakukan terhadap sampel tanah yang diambil dari dalam piringan pohon dengan diameter 250 cm dengan kedalaman 0-20; 20-40; 40-60; 60-80 cm dari permukaan tanah. Kandungan pH diperoleh dengan cara menggunakan pH meter pada setiap lapisan tanah. Kandungan logam berat Al dan Fe diperoleh dengan menggunakan metode instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) yang dilakukan di Laboratorium PT. Socfindo. Metode AAS adalah instrumen analisis dalam kimia menggunakan prinsip energi serapan atom dengan pengukuran spektrum yang berhubungan dengan serapan dan emisi atom (Sugito *et al.*, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kedalaman Sulfurik

Berdasarkan pengamatan dari kedua blok pengamatan yaitu Blok 27 dan Blok 24 mendapatkan hasil kandungan sulfurik atau lapisan pirit (FeS_2) dari permukaan tanah Blok 27 $> 80\text{ cm}$ dan Blok 24 $> 20\text{ cm}$ yang diperoleh dengan meneteskan larutan H_2O_2 30% (Hidrogen Peroksida) pada contoh tanah dari setiap lapisan yang berwarna kelabu gelap memunculkan reaksi bergelembung dan berasap pada tanah. Hal ini terjadi karena apabila tanah sulfat masam di tetesi H_2O_2 30% terjadi reaksi berbuih dan berasap menunjukkan bahwa adanya bahan sulfidik yaitu pirit pada lapisan tanah tersebut. Terbentuk ion sulfat (SO_4^{2-}), besi (Fe^{3+}), dan air, serta panas tinggi. Panas ini menguapkan air atau H_2O_2 itu sendiri berasap. Bukan asap dari hasil pembakaran melainkan uap air dan kemungkinan gas sulfur (Fahmi dan Noor, 2021).

2. Karakteristik Sifat Kimia

Karakteristik sifat kimia tanah dari kedua blok pengamatan yaitu kandungan pH (Potensial of Hydrogen), Al-Total % (Aluminium) dan Fe % (Besi). Karakteristik sifat kimia tanah pada kedua blok pengamatan disajikan pada Tabel 1.

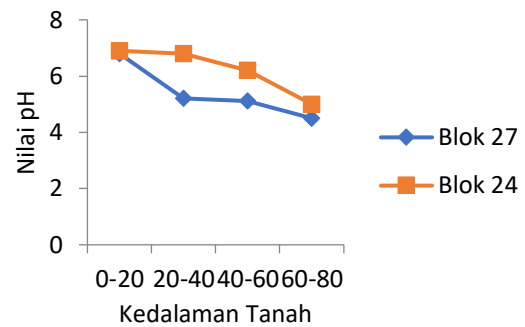
Tabel 1. Karakteristik Sifat Kimia Tanah

Blok	Kedalaman Tanah (cm)	Ph	Al-Total (%)	Fe (%)
Blok 27	0-20	6.8	4.1547	3.1274
	20-40	5.2	4.5125	2.3983
	40-60	5.1	4.9185	2.1974
	60-80	4.5	5.2572	1.3743
Blok 24	0-20	6.9	3.1552	2.8684
	20-40	6.8	3.2394	3.2351
	40-60	6.2	3.4675	2.3232
	60-80	5.0	3.7582	1.4313

Dari data yang diperoleh secara langsung dapat disimpulkan dari karakteristik sifat kimia tanah blok 27 dan Blok 24 bahwa lapisan atas tanah memiliki kandungan pH masam hingga lapisan bawah tanah menjadi sangat masam. Pada lapisan atas tanah dari kedua blok juga diperkaya akan kandungan Fe namun memiliki kandungan Al yang lebih rendah. Lapisan bawah tanah lebih masam dengan kandungan Al yang tinggi namun memiliki kandungan Fe yang menurun. Hal ini dapat mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman kelapa sawit kemasaman yang tinggi dan kandungan Al dapat menjadi racun bagi akar di lapisan bawah, serta Fe yang tinggi akan menjadi racun bagi akar di lapisan atas.

3. Perubahan pH Tanah Berdasarkan Kedalaman

Berdasarkan hasil pengamatan sifat kimia pada setiap lapisan pada kedua blok pengamatan yaitu blok 27 dan blok 24 diperoleh kandungan pH yang cenderung menurun dari lapisan permukaan tanah hal ini menunjukkan semakin dalam lapisan tanah maka kandungan pH semakin asam.



Gambar 1. Grafik perubahan pH tanah

Blok 27 mengalami penurunan pH dari 6.8 (0–20 cm) turun menjadi 4.5 (60–80 cm) dan Blok 24 mengalami penurunan pH dari 6.9 (0–20 cm) turun menjadi 5.0 (60–80 cm). Penurunan pH ini mengindikasikan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam, terutama lapisan sulfurik, memiliki tingkat keasaman yang lebih tinggi. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh oksidasi senyawa pirit (FeS_2) yang menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4). Tanah sulfat masam memang dikenal memiliki karakteristik pH rendah di lapisan bawah akibat akumulasi produk oksidasi sulfur dan besi. Fenomena peningkatan asam pada tanah dengan seiring bertambahnya kedalaman tanah lapisan merupakan indikasi keberadaan lapisan sulfurik/kandungan pirit yang aktif menghasilkan ion H^+ akibat oksidasi pirit di zona bawah tanah. (Fahmi & Noor, 2021).

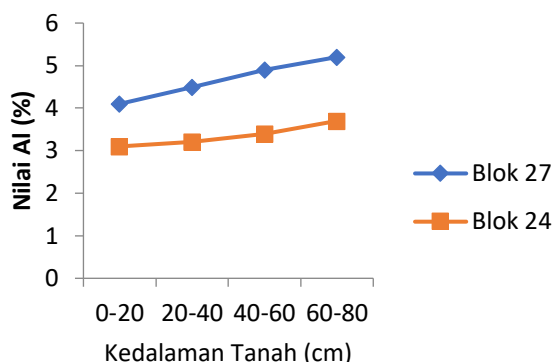
Hal ini sejalan dengan (Mosley *et al.*, 2014) menyatakan bahwa lapisan sulfurik yang terpapar oleh oksigen mengakibatkan bahan sulfida termasuk mineral pirit dapat teroksidasi sehingga material sulfur menurunkan pH tanah. Jayalath *et al.*, (2016) Mengemukakan bahwa saat pH tanah rendah pada lapisan sulfurik hal ini disebabkan oleh akibat proses oksidasi mineral pirit yang menghasilkan ion H^+ dan membentuk asam sulfat.

Data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan pH di kedalaman 60–80 cm sejalan dengan teori bahwa lapisan sulfurik terletak di zona tersebut, dan saat terjadi eksposur terhadap oksigen, maka terjadi 29 penurunan pH yang signifikan. Dinamika ini menjadi penting dalam interpretasi bahwa pH

tanah sulfat masam sangat bergantung pada status kelembapan dan kedalaman lapisan aktif.

4. Kandungan Aluminium (Al-Total)

Berdasarkan hasil pengamatan sifat kimia pada setiap lapisan pada kedua blok pengamatan yaitu blok 27 dan blok 24 diperoleh kandungan Al yang cenderung meningkat dari lapisan permukaan tanah hal ini menunjukkan semakin dalam lapisan tanah maka kandungan Al semakin meningkat.



Gambar 2. Grafik perubahan Al tanah

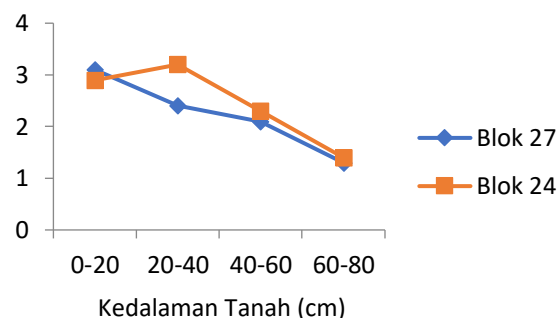
Pada Blok 27, Al mengalami peningkatan dari 4.15% menjadi 5.26% (dari lapisan atas ke bawah) serupa dengan Blok 24, Al meningkat dari 3.15% menjadi 3.75% dari kedua blok pengamatan blok 27 yang mengalami peningkatan terbesar yaitu 1.11 %. Menurut Fahmi & Noor (2021) kandungan Al pada tanah sulfat masam umumnya memiliki Al total sebesar 3-10 %. Apabila kandungan Al >5% sudah termasuk kategori tinggi. Menurut Hartono *et al.*, (2022) menyatakan bahwa ada hubungan yang nyata antara pH tanah dengan Al-dd tanah dimana ketika pH turun maka konsentrasi Al-dd tanah akan meningkat.

Pirit yang teroksidasi mengakibatkan perubahan kandungan ion-ion di dalam larutan tanah. Peningkatan konsentrasi ion H^+ dalam larutan umumnya menyebabkan penurunan laju absorpsi kation sehingga meningkatkan kandungan Al (Noya *et al.*, 2014). Sejalan dengan pernyataan Ginting dan Sutarta, (2024) yang menyatakan Penurunan pH dan peningkatan kadar Al-dd pada tanah terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Ketika muka air tanah turun melebihi kedalaman lapisan sulfurik maka bahan-bahan sulfidik akan teroksidasi melepaskan ion H^+ dan Al pada larutan tanah.

Hasil ini konsisten dengan temuan Fageria (2009) dan Tan (2011) yang menyatakan bahwa aluminium tersedia (Al-dd) adalah faktor pembatas utama pertumbuhan akar tanaman di tanah masam, khususnya pada ordo Spodosol dan tanah sulfat masam. Oleh karena itu, tingginya kandungan Al pada lapisan bawah tanah sulfat masam di lokasi penelitian menjadi indikator penting perlunya pengelolaan keasaman tanah, agar pertumbuhan akar dan penyerapan hara oleh tanaman kelapa sawit tidak terganggu

5. Kandungan Besi (Fe)

Berdasarkan hasil pengamatan sifat kimia pada setiap lapisan pada kedua blok pengamatan yaitu blok 27 dan blok 24 diperoleh kandungan Fe yang cenderung menurun dari lapisan permukaan tanah hal ini menunjukkan semakin dalam lapisan tanah maka kandungan Fe semakin menurun.



Gambar 3. Grafik perubahan Fe tanah

Kandungan Fe dari lapisan teratas pada blok 27 mengalami penurunan sebesar 1,7531 % yaitu pada lapisan 0-20 cm memiliki nilai Fe 3,1274 % hingga lapisan 60-80 cm memiliki nilai Fe 1,3743 %. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kandungan Fe lebih besar dari peningkatan kemasaman tanah dan Al.

Fenomena penurunan kandungan Fe menunjukkan bahwa besi cenderung lebih tinggi di lapisan atas akibat proses oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} di lingkungan yang lebih aerob (permukaan). Di lapisan bawah, karena kondisi lebih reduktif, Fe dapat berada dalam bentuk Fe^{2+} yang lebih larut, namun bisa ikut tercuci atau terendapkan kembali dalam bentuk lain seperti jarosit ($FeSO_4$). Jerosit adalah mineral sulfat besi yang umum terbentuk pada tanah sulfat masam, terutama sebagai hasil

oksidasi pirit (FeS_2) di lingkungan yang bersifat asam kuat. Menurut Fahmi & Noor (2021), distribusi Fe pada tanah sulfat masam menunjukkan konsentrasi lebih tinggi di permukaan karena adanya oksidasi pirit dan pembentukan oksida besi di lapisan atas.

Pola distribusi ini menunjukkan bahwa Fe lebih banyak terakumulasi pada lapisan atas tanah. Fenomena ini disebabkan oleh proses oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} pada lingkungan aerob (tersedia oksigen), yang kemudian mengendap sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau Fe_2O_3 . Proses oksidasi tersebut umum terjadi pada lapisan permukaan, terutama setelah tanah mengalami pembukaan lahan atau drainase, sebagaimana terjadi pada tanah sulfat masam. Di sisi lain, lapisan tanah yang lebih dalam dengan pH lebih rendah dan kondisi lebih reduktif menyebabkan Fe cenderung berada dalam bentuk Fe^{2+} yang larut dan dapat tercuci, sehingga kandungan totalnya lebih rendah. Keberadaan Fe dalam jumlah tinggi, khususnya pada lapisan atas, berpotensi membentuk oksida besi yang dapat memengaruhi struktur tanah dan membatasi penetrasi akar. Selain itu, Fe^{2+} dalam jumlah tinggi pada lapisan reduktif juga dapat bersifat toksik bagi akar kelapa sawit, mengganggu penyerapan hara seperti fosfor dan menyebabkan pertumbuhan akar terhambat. Oleh karena itu, distribusi Fe di tanah sulfat masam sangat dipengaruhi oleh kedalaman, kondisi redoks, dan pH tanah, serta memiliki implikasi penting terhadap kesehatan akar dan pertumbuhan tanaman kelapa sawit.

Perkembangan akar disetiap lapisan dihitung dari hasil berat kering akar pada kedua blok pengamatan yaitu blok 27 dan blok 24. Berat kering akar diperoleh dengan melakukan proses kering angin atau proses pengeringan yang tidak dibawah sinar matahari langsung selama 48 jam. Diameter akar di ukur menggunakan jangka sorong digital Hasil yang diperoleh dari proses tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Fenomena dari data diatas terlihat bahwa semakin dalam lapisan tanah maka semakin rendah berat kering akar dan semakin kecil diameter akar hal ini dapat mempengaruhi penyerapan akar pada unsur hara menjadi tidak optimal.

Distribusi akar pada ukuran tersebut hanya berkisar 1 g berat kering akar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan akar kelapa sawit, baik dalam hal berat kering maupun diameter, cenderung menurun seiring bertambahnya kedalaman tanah pada kedua blok pengamatan. Di Blok 27, berat kering akar primer tertinggi tercatat pada kedalaman 0–20 cm sebesar 1,08 gram dengan diameter 2,2 mm, kemudian menurun tajam hingga hanya 0,20 gram dan diameter 0,6 mm pada kedalaman 60–80 cm. Tren serupa terlihat di Blok 24, dengan berat akar primer tertinggi sebesar 1,22 gram dan diameter 2,5 mm pada kedalaman 0–20 cm, dan menurun menjadi 0,28 gram dan diameter 0,8 mm di lapisan terdalam. Pada radius >200–250 cm dari tanaman kelapa sawit, akar yang ditemukan berkisar antara 5–15 gram berat kering per m^2 , tergantung pada umur tanaman dan kesuburan tanah (Siregar *et al.*, 2014).

Tabel 2. Perkembangan Akar Pada Lapisan Tanah
Keterangan

Blok	Kedalaman Tanah (cm)	Berat Kering Akar (g)	Diameter Akar (mm)		
			P	S	T
Blok 27	0-20	1.08	2.2	0.7	0.5
	20-40	0.86	0.8	0.4	0.2
	40-60	0.51	0.7	0.3	0.2
	60-80	0.20	0.6	0.3	0.1
Blok 24	0-20	1.22	2.5	1.4	0.6
	20-40	0.72	1.6	0.9	0.5
	40-60	0.76	1.4	0.7	0.4
	60-80	0.28	0.8	0.5	0.1

Diameter akar primer tertinggi terletak pada blok 24 yaitu 2.5 mm, akar sekunder berkisar 1.6

mm dan akar tersier tertinggi 0.4 mm. Menurut Ginting dan Sutarta, (2024) pada lahan mineral/normal diameter akar primer adalah akar dengan diameter > 5 mm, akar sekunder memiliki diameter 2,5 - 5 mm, dan akar tersier dengan diameter 0,5-2,5 mm.

Pada lahan pasang surut unsur unsur yang berpotensi menjadi racun bagi tanaman seperti Fe, Al dan Mn lebih tinggi di banding dengan unsur hara makro yang mendukung pertumbuhan tanaman. Hal ini di sebabkan oleh dominasi mineral amorf dengan kandungan nutrisi rendah dan/atau adanya kation logam Fe, Al, dan Mn, maka kompleks adsorpsi mengandung kation dari N, P, K. (Razie, 2019).

Penurunan perkembangan akar ini berkorelasi erat dengan menurunnya pH tanah dan meningkatnya kandungan aluminium (Al) total di lapisan bawah. Pada kedalaman 60–80 cm, pH tanah mencapai titik terendah yaitu 4,5 (Blok 27) dan 5,0 (Blok 24), sementara kandungan Al mencapai puncaknya yaitu 5,2572% (Blok 27) dan 3,7582% (Blok 24). Dalam kondisi masam seperti ini, Al berada dalam bentuk ion Al^{3+} yang larut dan bersifat toksik, terutama terhadap zona meristem akar. Ion ini dapat menghambat pembelahan sel, merusak struktur membran akar, serta mengganggu penyerapan hara penting seperti fosfor dan kalsium. Oleh karena itu, akar cenderung tumbuh terbatas, pendek, dan berdiameter kecil di lapisan bawah tanah. Menurut Lubis *et al.*, (2015) Lahan masam mengandung Al yang tinggi berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara fosfor (P) dan juga nitrogen (N). Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yosephine *et al.*, (2021) menghasikan bahwa perkembangan vegetatif tanaman salah satunya berat basah akar tanaman kelapa sawit di pengaruhi unsuk P dan K. Hal serupa yang di kemukakan oleh Fauzi dan Puspita, (2017) Pola penyebaran akar di pengaruhi oleh ketersediaan unsur hara. Unsur hara makro N, P dan K sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan akar karena unsur hara N berfungsi sebagai menunjang pertumbuhan vegetatif akar. Unsur hara P akan membentuk sistem perakaran yang baik serta

unsur hara K merangsang proses pemanjangan akar.

Al adalah salah satu unsur yang bersifat toxic dan sangat berbahaya bagi pertumbuhan tanaman salah satunya berdampak pada akar. Keberadaan Al akan menyebabkan kerusakan pada akar Kandungan Al lebih dari 3 me/ 100gr akan menyebabkan kerusakan akar yang ditandai dengan adanya *root curling* (Setiadi dan Anira, 2015). Tanah masam yang memiliki kandungan Al tinggi akan meracuni akar tanaman pertama kali hal ini di sebabkan oleh efek langsung Al didasarkan pada penghambatan pembelahan sel di ujung akar, yang pada gilirannya menghambat kemampuan akar untuk menyerap air dan unsur hara (Nurwinda *et al.*, 2015).

Selain Al, distribusi Fe juga memengaruhi pertumbuhan akar. Kandungan Fe total yang tinggi di lapisan atas (misalnya 3,1274% di kedalaman 0–20 cm Blok 27) mengindikasikan terjadinya oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang mengendap sebagai oksida besi. Meskipun dalam bentuk tidak larut, endapan ini tidak seberbahaya Al^{3+} , sehingga akar masih dapat tumbuh optimal. Sebaliknya, pada lapisan bawah dengan kondisi lebih reduktif, Fe^{2+} dapat terlarut dan menjadi toksik jika dalam konsentrasi tinggi, meskipun dalam data ini konsentrasi Fe cenderung menurun seiring kedalaman.

Menurut Prasetyo, *dkk*(2017) Logam berat seperti besi (Fe) dapat meacuni tanaman. Pada tanaman unsur besi dapat membantu proses fotosintesis dan respirasi karena besi bagian dari enzim protein. Namun ketika tanaman mendapatkan unsur berlebih pada Fe akan menimbulkan keracunan pada tanaman tersebut, yang akan menyebabkan penyakit nekrosis yang ditandai dengan munculnya bintik-bintik hitam pada permukaan daun.

KESIMPULAN

Sifat Tanah sulfat masam menunjukkan pola kimia yang khas, di mana pH menurun dari kondisi mendekati netral di lapisan atas ($\pm 6,8-6,9$) menjadi sangat masam di lapisan bawah ($\pm 4,5-5,0$), diikuti peningkatan Al total dan penurunan Fe total. Lapisan sulfurik pada kedalaman 20–80 cm menjadi

sumber utama kemasaman dan akumulasi Al^{3+} toksik yang mengganggu fisiologi akar, sementara kandungan Fe lebih tinggi di lapisan atas akibat proses oksidasi pada zona aerob. Kondisi kimia tersebut berdampak langsung pada pertumbuhan akar kelapa sawit, di mana akar paling optimal berkembang pada lapisan 0–20 cm, sedangkan pada kedalaman 60–80 cm akar menjadi lebih pendek, tipis, dan jarang karena tekanan lingkungan tanah yang sangat masam dan tingginya kelarutan Al. Hal ini menegaskan bahwa pH tanah dan toksisitas Al merupakan faktor utama yang membatasi perkembangan akar pada tanah sulfat masam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Thank you to those who helped materially and non-materially. Whether it is research funders, research facilities providers, or those who help in any way.

REFERENSI

- Hartono, A., Nadalia, D., & Satria, P. H. (2022). *Aluminium Dapat Dipertukarkan dan Fosfor Tersedia pada Tanah di Provinsi Bangka Belitung*. Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan, 24(1), 20–24.
- Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press.
- Fahmi, A., & Noor, M. (2021). *Sifat dan pengelolaan tanah sulfat masam dan gambut* (Ed. 1, Cet. 1). Rajawali Press.
- Fauzi, A., & Puspita, F. (2017). *Pemberian Kompos TKKS dan Pupuk P Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit*. JOM FAPERTA.
- Ginting, E. N., Sutarta, E. S. (2024). *Karakteristik Kimia Tanah Sulfat Masam Pada Kedalaman Lapisan Sulfurik Yang Berbeda Serta Pengaruhnya Terhadap Perkembangan Akar Tanaman Kelapa Sawit*. Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 2024, 32(1): 45-56
- Jayalath, N., Mosley, L. M., Fitzpatrick, R. W., & Marschner, P. (2016). *Addition of Organic Matter Influences pH Changes in Reduced and Oxidised Acid Sulfate Soils*. Geoderma, 262, 125–132.
- Lubis, D. S., Hanafiah, A. S., Sembiring, M. (2015). *Pengaruh pH Terhadap Pembentukan Bintil Akar, Serapan Hara N, P dan Produksi Tanaman pada Beberapa Varietas Kedelai pada Tanah Inseptisol Di Rumah Kasa*. Jurnal Online Agroekoteknologi. Vol.3, No.3 : 1111 - 1115.
- Mosley, L. M., Fitzpatrick, R., dan Groenenberg, B., J. (2014). *Lower Murray Reclaimed Irrigation Area (LMRIA) Acidification Project: A biogeochemical model for assessing and managing acid sulfate soils in the Lower Murray region of South Australia*
- Noya, A. I., Ghulamahdi, M., Soepandi, D., Sutandi, A., Melati, M. (2014). *Pengaruh Kedalaman Muka Air dan Amelioran terhadap Produktivitas Kedelai di Lahan Sulfat Masam*. PANGAN, Vol. 23 No. 2 Juni 2014 : 120-133
- Nurwinda, Y. D. (2015). *Diagnosis Penghambat Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit Pada Lapisan Bawah Ultisol* (Skripsi, Universitas Brawijaya). RepositoryUB.
- Prasetyo, R. Y., Rahayu, E., & Valensi, K. (2017). *Uji Efektivitas Aplikasi Bahan Organik dan Kapur Dalam Menanggulangi Logam Berat Besi (Fe). Di Tanah Sulfat Masam Pada Bibit Kelapa Sawit Pre Nursery*. JURNAL AGROMAST, Vol.2, No. 1.
- Primayuda, A., Suriadikusumah, A., Solihin, M. A. (2022). *Identifikasi Kedalaman Pirit Dan Kaitannya Terhadap Kesehatan dan Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) (Studi Kasus Di Perkebunan PT Sumbermas Sarana Tbk)*. J. Il. Tan. Lingk., 24 (1): 6-13.
- Razie, F. (2019). *Potensi Produksi Padi Di Tanah Sulfat Masam Dengan Kedalaman Pirit*

Berbeda. Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah.

- Setiadi, Y., & Anira, F. C. (2015). *Deteksi Dini Keracunan Aluminium Tanaman Bridelia monoica Merr. Pada Tanah Pasca Tambang Batu Bara PT. Jorong Barutama Greston Kalimantan Selatan*. Jurnal Silvikultur Tropika Vol. 06 No. 2, Hal 101-106.
- Siregar, F.A., Suryanto, P., dan Rahutomo, S. (2014). *Distribusi Akar Kelapa Sawit pada Tanah Ultisol*. Jurnal Tanah dan Iklim No. 39
- Sutarta, E. S. (2024). *Karakteristik Kimia Tanah Sulfat Masam Pada Kedalaman Lapisan Sulfurik Yang Berbeda Serta Pengaruhnya Terhadap Perkembangan Akar Tanaman Kelapa Sawit*. Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 45–56.
- Sugito, Marliyan, S. D., Apriana, H. D. (2022). *Uji Kinerja Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) Shimadzu 6650 F Terhadap Logam Fe, Zn pada Kegiatan Praktikum Kimia Anorganik di UPT Laboratorium Terpadu UNS*. Indonesian Jurnal Of Laboratory, Vol 5 (2) 2022, 83-89.
- Tan, K. H. (2011). *Principles of Soil Chemistry* (4th ed.). CRC Press.
- Yosephine, I. O., Gunawan, H., & Kurniawan, R. (2021). *Pengaruh Pemakaian Jenis Biochar pada Sifat Kimia Tanah P dan K terhadap Perkembangan Vegetatif Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) pada Media Tanam Ultisol*. AGROTEKNIKA, 1-10.