ISSN (Print): 1693-0738
ISSN (Online): 2714-5549
Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian Vol. 28 (2), Oktober 2026

PENGARUH INOKULASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA TERHADAP PENURUNAN KADAR BESI (Fe) PADA TANAH TERSIMULASI TERCEMAR Fe MENGGUNAKAN *Sansevieria trifasciata*

Indah Apriliya[1*] Tio Hotman Siagian[2]
[12]Fakultas Pertanian, Universitas Medan Area, Medan,
*Coresponding Author : Indahapriliya@staff.uma.ac.id

Info Artikel

Received: October 13, 2026
Revised: October 26, 2026
Accepted: October 27, 2026

Keywords:
iron (Fe); arbuscular mycorrhizal fungi; phytoremediation; Sansevieria trifasciata; soil chemical properties.

Abstract

This study evaluated the potential of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to support phytoremediation of iron (Fe)-contaminated soil using Sansevieria trifasciata. The experiment employed a completely randomized design with three treatments and three replicates: soil without plants or AMF (A), soil planted with S. trifasciata without AMF (B), and soil planted with S. trifasciata inoculated with 20 g AMF per polybag (C). Each experimental unit contained 5 kg of soil amended with $FeSO_4$ to achieve a calculated target Fe concentration of 13.52 mg/kg. The experiment lasted 12 weeks. The parameters assessed were soil Fe concentration, pH, organic carbon, cation exchange capacity (CEC), and plant height. Data were analyzed descriptively. Treatment C resulted in the lowest final soil Fe concentration (2.98 ppm), followed by treatment B (5.45 ppm) and treatment A (11.98 ppm). The relative decrease in Fe concentration under treatment C reached 77.96% compared with the calculated reference value. Treatment C also showed a final soil pH of 6.5, an organic carbon content of 1.28%, a CEC of 26.35 me/100 g, and a mean plant height increment of 9.33 cm. The combination of S. trifasciata and AMF shows potential for supporting phytoremediation and changes in soil chemical properties under simulated Fe contamination.

Kata kunci:
besi (Fe); fungi mikoriza arbuskula; fitoremediasi; *Sansevieria trifasciata*; sifat kimia tanah

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi fungi mikoriza arbuskula (FMA) dalam mendukung fitoremediasi tanah tercemar besi (Fe) menggunakan *Sansevieria trifasciata*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga perlakuan dan tiga ulangan, yaitu tanah tanpa tanaman dan FMA (A), tanah dengan *S. trifasciata* tanpa FMA (B), serta tanah dengan *S. trifasciata* dan FMA sebanyak 20 g/polibag (C). Setiap unit percobaan menggunakan 5 kg tanah dengan penambahan $FeSO_4$ berdasarkan konsentrasi target hasil perhitungan sebesar 13,52 mg/kg. Percobaan berlangsung selama 12 minggu. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi Fe, pH, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan tinggi tanaman. Data dianalisis secara deskriptif. Perlakuan C menghasilkan konsentrasi Fe akhir terendah sebesar 2,98 ppm, diikuti perlakuan B sebesar 5,45 ppm dan A sebesar

		11,98 ppm. Penurunan relatif konsentrasi Fe pada perlakuan C mencapai 77,96% dibandingkan nilai acuan hasil perhitungan. Perlakuan C juga menunjukkan pH akhir 6,5, C-organik 1,28%, KTK 26,35 me/100 g, serta pertambahan tinggi tanaman rata-rata 9,33 cm. Kombinasi *S. trifasciata* dan FMA berpotensi mendukung fitoremediasi serta perubahan sifat kimia tanah pada kondisi pencemaran Fe yang disimulasikan.

PENDAHULUAN

Pencemaran tanah oleh unsur logam merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang dapat menurunkan kualitas tanah dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Besi (Fe) merupakan unsur esensial yang berperan dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, respirasi, dan aktivitas enzim. Namun, Fe yang tersedia secara berlebihan pada kondisi tanah tertentu dapat menyebabkan toksisitas, mengganggu fungsi fisiologis akar, dan menghambat pertumbuhan tanaman. Tingkat risiko toksisitas Fe dipengaruhi oleh bentuk kimia dan ketersediaannya dalam tanah, termasuk kondisi pH dan oksidasi-reduksi (Li et al., 2024). Oleh karena itu, evaluasi kadar Fe perlu mempertimbangkan karakteristik kimia tanah serta respons tanaman selama proses remediasi.

Tanaman dapat berperan dalam fitoremediasi melalui proses penyerapan kontaminan oleh sistem perakaran, kemudian sebagian unsur tersebut dapat diakumulasi atau diimobilisasi pada jaringan tanaman maupun daerah rizosfer (Ali *et al.,* 2019). Keberhasilan fitoremediasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam mentoleransi cekaman logam berat serta efektivitas sistem perakaran dalam menyerap kontaminan dari media tumbuh (Sharma *et al*., 2023). Berdasarkan mekanismenya, fitoekstraksi melibatkan penyerapan dan akumulasi logam dalam jaringan tanaman, sedangkan fitostabilisasi berperan dalam mengurangi mobilitas atau ketersediaan logam di dalam tanah. Dalam konteks tersebut, interaksi tanaman dengan fungi mikoriza arbuskula (FMA) menjadi aspek penting karena dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman dan distribusi logam dalam sistem tanah–tanaman (Crișan et al., 2024; Trocio & Paguntalan, 2023).

Sansevieria trifasciata merupakan salah satu tanaman yang telah dikaji dalam penelitian fitoremediasi logam. Li dan Yang (2020) mengevaluasi karakteristik akumulasi kadmium (Cd) pada *S. trifasciata*. Kajian tersebut memberikan landasan untuk meneliti respons tanaman ini terhadap paparan logam, tetapi hasil mengenai Cd tidak dapat langsung digeneralisasi terhadap Fe karena karakteristik kimia dan pola interaksi setiap unsur berbeda. Oleh sebab itu, penelitian terhadap *S. trifasciata* pada tanah dengan penambahan Fe diperlukan untuk mengevaluasi perubahan kadar Fe tanah dan respons pertumbuhan tanaman pada kondisi percobaan yang ditetapkan.

FMA merupakan fungi simbiotik yang berasosiasi dengan akar tanaman dan berpotensi memengaruhi penyerapan unsur hara, pertumbuhan tanaman, serta interaksi tanaman dengan logam di dalam tanah. Hifa eksternal FMA dapat memperluas area eksplorasi tanah, sedangkan interaksi fungi dengan akar dan media tanam dapat memengaruhi distribusi logam dalam sistem tanah–tanaman. Trocio dan Paguntalan (2023) membahas potensi FMA dalam bioremediasi tanah yang terkontaminasi logam, sedangkan Putra et al. (2024) menunjukkan bahwa inokulasi FMA dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman dan akumulasi berbagai logam pada jaringan tanaman. Namun, arah dan besarnya respons bergantung pada jenis logam, tanaman inang, dan kondisi percobaan. Dengan demikian, pengaruh inokulasi FMA terhadap perubahan kadar Fe tanah perlu dievaluasi secara empiris dan tidak dapat diasumsikan selalu meningkatkan penyerapan Fe oleh tanaman.

Penelitian terdahulu telah membahas akumulasi Cd pada *S. trifasciata* serta peran FMA dalam sistem remediasi logam (Li & Yang, 2020; Putra et al., 2024; Trocio & Paguntalan, 2023). Namun, temuan dari sistem yang menggunakan jenis logam, tanaman, dan kondisi media berbeda belum cukup untuk menjelaskan respons kombinasi *S. trifasciata*, FMA, dan Fe pada tanah tersimulasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi perubahan kadar Fe tanah pada perlakuan tanpa tanaman dan tanpa inokulasi FMA, perlakuan dengan tanaman tanpa inokulasi FMA, serta perlakuan dengan tanaman dan inokulasi FMA. Pengamatan pH, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan tinggi tanaman dilakukan sebagai parameter pendukung untuk memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai perubahan karakteristik tanah dan respons pertumbuhan tanaman selama percobaan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan kadar Fe tanah tersimulasi setelah 12 minggu pada tiga perlakuan, yaitu tanah tanpa tanaman dan tanpa inokulasi FMA, tanah yang ditanami *S. trifasciata* tanpa inokulasi FMA, serta tanah yang ditanami *S. trifasciata* dengan inokulasi FMA sebanyak 20 g per polibag. Selain kadar Fe sebagai parameter utama, penelitian ini mengamati perubahan pH, C-organik, KTK, dan tinggi tanaman sebagai parameter pendukung. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi eksperimental mengenai perubahan kadar Fe dan karakteristik tanah pada sistem tanah–tanaman dengan dan tanpa inokulasi FMA dalam kondisi percobaan selama 12 minggu.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Pertanian, Universitas Medan Area. Bahan yang digunakan meliputi tanah *subsoil* yang diambil dari kedalaman 25–50 cm, bibit lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*), inokulum Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), besi(II) sulfat ($FeSO_4$) sebagai sumber Fe untuk simulasi pencemaran tanah, akuades, serta bahan kimia untuk analisis sifat kimia tanah. Peralatan yang digunakan meliputi polibag berkapasitas 5 kg, cangkul, sekop, ayakan tanah berukuran 2 mm, timbangan digital, gelas ukur, gelas beker, pipet volumetrik, pH meter, oven, dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Inokulum FMA yang digunakan mengandung campuran *Glomus* sp. dan *Acaulospora* sp., dengan kepadatan 100 spora g^{-1} . Dosis FMA sebesar 20 g/polibag ditetapkan dengan mengacu pada penelitian Ghaisani et al. (2020). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan dan tiga ulangan, sehingga diperoleh sembilan unit percobaan. Setiap unit percobaan menggunakan 5 kg tanah yang ditempatkan dalam polybag, dengan uraian sebagai berikut :

A = Tanah tersimulasi tercemar Fe tanpa tanaman dan tanpa FMA;
B = Tanah tersimulasi tercemar Fe yang ditanami *Sansevieria trifasciata* tanpa FMA;
C = Tanah tersimulasi tercemar Fe yang ditanami *Sansevieria trifasciata* dengan penambahan FMA;

Tanah *subsoil* diambil dari kedalaman 25–50 cm dan ditimbang sebanyak 5 kg untuk setiap unit percobaan. Simulasi pencemaran Fe dilakukan dengan menambahkan 184 mg besi(II) sulfat ($FeSO_4$) ke dalam setiap 5 kg tanah. Penambahan tersebut didasarkan pada perhitungan stoikiometri Fe dalam $FeSO_4$ untuk memperoleh konsentrasi Fe target sebesar 13,52 mg kg^{-1} tanah. $FeSO_4$ dicampurkan secara manual hingga merata ke seluruh media tanah, kemudian tanah dimasukkan ke dalam polibag berkapasitas 5 kg. Setelah pencampuran, sampel tanah komposit diambil untuk analisis awal kandungan pH, C-organik, dan kapasitas tukar kation (KTK). Sampel komposit tersebut diperoleh dengan menggabungkan dan menghomogenkan tanah yang telah diberi $FeSO_4$, kemudian mengambil satu sampel yang mewakili keseluruhan media penelitian.

Bibit *Sansevieria trifasciata* yang digunakan dalam penelitian berumur 2 bulan dengan tinggi awal tanaman 45 cm. Pemeliharaan tanaman dilakukan melalui penyiraman menggunakan air sebanyak 250 mL per polibag sekali sehari pada pukul 07.00. Percobaan berlangsung selama12 minggu, setelah itu sampel tanah dari setiap polibag diambil untuk dianalisis kandungan besi (Fe) dan karakteristik tanah sesuai parameter penelitian.

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah konsentrasi besi (Fe) dalam tanah setelah 12 minggu perlakuan fitoremediasi, sedangkan parameter pendukung meliputi pH tanah, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan pertumbuhan tanaman *Sansevieria trifasciata*. Sampel tanah akhir diambil dari setiap polibag secara terpisah pada akhir minggu ke-12, dimasukkan ke dalam kantong sampel yang diberi label sesuai perlakuan, kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Konsentrasi Fe dalam tanah dianalisis menggunakan spektrometri serapan atom (*Atomic Absorption Spectrophotometry*, AAS). Sebelum analisis, sampel tanah dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam, kemudian didestruksi menggunakan asam nitrat (HNO_3) dan diproses lebih lanjut sesuai dengan prosedur analisis laboratorium. Konsentrasi Fe awal sebesar 13,52 ppm ditetapkan berdasarkan perhitungan penambahan $FeSO_4$ ke dalam media tanah sebelum perlakuan dan digunakan sebagai nilai acuan untuk mengevaluasi perubahan konsentrasi Fe setelah 12 minggu percobaan. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan konsentrasi Fe akhir antarperlakuan serta mengkaji perubahan karakteristik kimia tanah dan respons pertumbuhan *Sansevieria trifasciata* selama periode penelitian.

Pengukuran pH tanah dilakukan untuk mengevaluasi perubahan reaksi tanah selama proses fitoremediasi pada masing-masing perlakuan. Pengukuran pH tanah dilakukan setiap dua minggu selama 12 minggu menggunakan pH meter. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada setiap polybag sesuai dengan jadwal pengamatan, dimulai pada awal penelitian hingga minggu ke-12. Nilai pH yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi perubahan kondisi kemasaman tanah pada setiap perlakuan selama periode fitoremediasi.

Kandungan karbon organik (C-organik) tanah dianalisis pada akhir periode fitoremediasi untuk mengevaluasi perubahan kandungan bahan organik tanah setelah perlakuan selama 12 minggu. Sampel tanah diambil dari masing-masing perlakuan, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam sebelum menjalani analisis laboratorium. Penetapan C-organik dilakukan menggunakan metode Walkley–Black. Hasil analisis dinyatakan dalam persen (%) dan digunakan untuk membandingkan kandungan C-organik tanah setelah perlakuan antara tanah tanpa tanaman dan FMA, tanah yang ditanami *S. trifasciata* tanpa FMA, serta tanah yang ditanami *S. trifasciata* dengan inokulasi FMA.

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah dianalisis setelah periode fitoremediasi selama 12 minggu untuk mengevaluasi perubahan kemampuan tanah dalam menahan dan mempertukarkan kation. Sampel tanah dipersiapkan melalui proses penyaringan dan penghalusan sebelum dianalisis di laboratorium. Analisis dilakukan menggunakan prinsip pertukaran kation dengan larutan garam amonium, kemudian kation amonium yang terikat pada kompleks pertukaran tanah ditetapkan secara analitis. Hasil pengukuran KTK dinyatakan dalam miliekuivalen per 100 gram tanah (me/100 g). Nilai KTK selanjutnya digunakan untuk membandingkan karakteristik pertukaran kation tanah pada ketiga perlakuan setelah proses fitoremediasi.

Pertumbuhan *Sansevieria trifasciata* dievaluasi berdasarkan perubahan tinggi tanaman sebelum dan setelah periode fitoremediasi. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan meteran setelah tanaman dipindahkan ke polibag dan diulang pada akhir percobaan setelah 12 minggu. Tinggi tanaman dicatat dalam satuan sentimeter (cm) untuk perlakuan B, yaitu tanaman tanpa inokulasi FMA, dan perlakuan C, yaitu tanaman dengan inokulasi FMA. Data tinggi awal dan tinggi akhir digunakan untuk menghitung pertambahan tinggi tanaman serta membandingkan respons pertumbuhan antara kedua perlakuan. Perlakuan A tidak melibatkan tanaman sehingga tidak dilakukan pengukuran tinggi tanaman pada perlakuan tersebut.

Data hasil pengamatan dan analisis laboratorium dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata (*mean*) untuk menggambarkan perubahan konsentrasi Fe, pH tanah, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan tinggi tanaman *Sansevieria trifasciata* pada setiap perlakuan. Nilai rata-rata dihitung berdasarkan data yang tersedia untuk setiap parameter, kemudian disajikan dalam bentuk tabel atau grafik untuk memudahkan perbandingan antara perlakuan A

(tanah tanpa tanaman dan tanpa inokulasi FMA), perlakuan B (tanah dengan tanaman tanpa inokulasi FMA), dan perlakuan C (tanah dengan tanaman dan inokulasi FMA). Perubahan konsentrasi Fe dievaluasi dengan membandingkan nilai awal yang digunakan sebagai acuan dengan konsentrasi Fe pada akhir percobaan, sedangkan perubahan pH dianalisis berdasarkan hasil pengamatan berkala selama 12 minggu. Perubahan C-organik dan KTK dievaluasi berdasarkan hasil analisis tanah setelah perlakuan, sementara pertumbuhan tanaman dinilai berdasarkan selisih tinggi tanaman sebelum dan sesudah percobaan. Hasil analisis digunakan untuk mendeskripsikan pola perubahan setiap parameter dan membandingkan respons ant perlakuan selama proses fitoremediasi.

HASIL PEMBAHASAN

Penurunan Kandungan Logam Berat Besi (Fe)

Hasil analisis laboratorium setelah percobaan selama 12 minggu menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi Fe akhir pada media tanah antarperlakuan. Konsentrasi Fe akhir pada perlakuan A (tanah tanpa tanaman dan tanpa inokulasi fungi mikoriza arbuskula/FMA) sebesar 11,98 ppm, perlakuan B (tanah yang ditanami *Sansevieria trifasciata* tanpa inokulasi FMA) sebesar 5,45 ppm, dan perlakuan C (tanah yang ditanami *S. trifasciata* dengan inokulasi FMA sebanyak 20 g per polibag) sebesar 2,98 ppm. Nilai 13,52 ppm yang digunakan sebagai Fe acuan ditetapkan berdasarkan perhitungan penambahan $FeSO_4$ ke dalam media tanah sebelum perlakuan, bukan berdasarkan pengukuran laboratorium terhadap konsentrasi Fe awal. Berdasarkan nilai tersebut, perlakuan A memiliki selisih sebesar 1,54 ppm, perlakuan B sebesar 8,07 ppm, dan perlakuan C sebesar 10,54 ppm. Persentase penurunan relatif terhadap nilai acuan masing-masing sebesar 11,39%, 59,69%, dan 77,96%. Dengan demikian, perlakuan C menunjukkan selisih terbesar antara konsentrasi Fe acuan dan konsentrasi Fe akhir yang terukur. Namun, persentase tersebut perlu dipahami sebagai penurunan relatif terhadap nilai acuan, bukan sebagai efisiensi penurunan yang dihitung berdasarkan dua hasil pengukuran laboratorium sebelum dan sesudah perlakuan.

Tabel 1. Konsentrasi Fe Akhir dan Penurunan Relatif terhadap Nilai Acuan Setelah Percobaan Selama 12 Minggu

Perlakuan	Fe Awal (ppm)	Fe akhir (ppm)	Selisih (ppm)	Penurunan relatif (%)
A	13,52	11,98	1,54	11,39
B	13,52	5,45	8,07	59,69
C	13,52	2,98	10,54	77,96

Keterangan : Fe awal sebesar 13,52 ppm ditetapkan berdasarkan perhitungan penambahan $FeSO_4$ ke dalam media tanah, sedangkan Fe akhir merupakan hasil analisis laboratorium setelah percobaan. Selisih dan persentase penurunan relatif dihitung berdasarkan perbandingan terhadap nilai acuan.

Berdasarkan Tabel 1, perlakuan A menunjukkan konsentrasi Fe akhir sebesar 11,98 ppm, dengan selisih 1,54 ppm atau 11,39% terhadap konsentrasi acuan 13,52 ppm. Perubahan konsentrasi Fe tersebut berkaitan dengan dinamika unsur di dalam media tanah selama periode percobaan. Secara kimiawi, perilaku Fe dalam tanah dipengaruhi oleh pH, kondisi oksidasi-reduksi, serta interaksinya dengan mineral dan bahan organik tanah. Faktor-faktor tersebut berperan dalam menentukan kelarutan dan distribusi Fe di dalam media (Li et al., 2024). Hasil pada perlakuan A memberikan gambaran mengenai perubahan konsentrasi Fe pada media tanpa tanaman dan inokulasi FMA, sekaligus menjadi dasar pembanding untuk mengevaluasi hasil pada perlakuan yang melibatkan tanaman dan FMA.

Pada perlakuan B, penggunaan *Sansevieria trifasciata* menghasilkan konsentrasi Fe akhir sebesar 5,45 ppm, dengan selisih 8,07 ppm atau penurunan relatif sebesar 59,69% terhadap konsentrasi awal. Dibandingkan dengan perlakuan A, konsentrasi Fe akhir pada perlakuan B lebih rendah sebesar 6,53 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan *S. trifasciata* berkaitan

dengan penurunan konsentrasi Fe pada media tanah. Dalam sistem fitoremediasi, tanaman berperan melalui interaksi antara akar dan tanah yang dapat memengaruhi dinamika unsur di daerah rizosfer. Proses tersebut mencakup penyerapan unsur oleh akar serta perubahan kondisi kimia di sekitar perakaran. Dengan demikian, penggunaan *S. trifasciata* menunjukkan potensi sebagai komponen biologis dalam upaya pengelolaan tanah yang mengandung Fe.

Konsentrasi Fe akhir terendah diperoleh pada perlakuan C, yaitu kombinasi *S. trifasciata* dan fungi mikoriza arbuskula (FMA), sebesar 2,98 ppm. Nilai tersebut menunjukkan selisih 10,54 ppm atau penurunan relatif sebesar 77,96% terhadap konsentrasi awal. Dibandingkan dengan perlakuan B, konsentrasi Fe akhir pada perlakuan C lebih rendah sebesar 2,47 ppm, dengan selisih penurunan relatif sebesar 18,27%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kombinasi tanaman dan FMA menghasilkan konsentrasi Fe akhir terendah di antara ketiga perlakuan. Pola ini sejalan dengan kajian Putra et al. (2024), yang menunjukkan bahwa inokulasi FMA dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, kandungan hara, dan akumulasi logam pada sistem tanaman yang tumbuh di tanah tercemar. Temuan tersebut memperkuat relevansi pemanfaatan FMA sebagai komponen pendukung dalam pengembangan teknologi fitoremediasi berbasis tanaman.

Peran FMA dalam sistem fitoremediasi berkaitan erat dengan hubungan simbiotiknya dengan akar tanaman. Pembentukan hifa eksternal memungkinkan perluasan wilayah eksplorasi tanah, sehingga berpotensi meningkatkan interaksi antara sistem perakaran dan komponen tanah. Selain berperan dalam penyerapan unsur hara, asosiasi mikoriza dapat memengaruhi respons fisiologis tanaman serta dinamika logam di daerah rizosfer. Boorboori dan Zhang (2022) menjelaskan bahwa FMA memiliki potensi dalam mendukung fitoremediasi berbagai unsur pencemar melalui interaksi antara fungi, akar, dan tanah. Mekanisme yang dibahas mencakup pengikatan logam pada struktur fungi, perubahan ketersediaan logam di daerah perakaran, serta peningkatan toleransi tanaman terhadap cekaman logam. Temuan tersebut memberikan landasan konseptual untuk menjelaskan hasil pada perlakuan C, yaitu konsentrasi Fe akhir yang lebih rendah pada kombinasi *S. trifasciata* dan FMA.

Interaksi tanaman–FMA juga berperan dalam menentukan distribusi logam di dalam sistem tanah–tanaman. Respons yang terbentuk dapat berbeda bergantung pada jenis tanaman inang, fungi yang berasosiasi, karakteristik logam, dan kondisi lingkungan. Putra et al. (2024) menunjukkan bahwa pengaruh FMA terhadap pertumbuhan tanaman, kandungan hara, dan akumulasi logam bervariasi pada berbagai sistem yang dikaji. Dalam konteks penelitian ini, konsentrasi Fe akhir yang lebih rendah pada perlakuan C menggambarkan respons positif sistem tanaman–FMA berdasarkan parameter Fe tanah yang diamati. Kondisi tersebut dapat dikaji lebih lanjut melalui mekanisme interaksi hifa, akar, dan komponen tanah yang berpotensi memengaruhi distribusi Fe selama percobaan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan urutan konsentrasi Fe akhir dari yang terendah hingga tertinggi, yaitu perlakuan C (2,98 ppm), B (5,45 ppm), dan A (11,98 ppm). Perlakuan C yang mengombinasikan *S. trifasciata* dan FMA menghasilkan konsentrasi Fe akhir terendah serta penurunan relatif terbesar terhadap konsentrasi acuan. Hasil ini menegaskan potensi pendekatan fitoremediasi yang mengintegrasikan tanaman dan mikroorganisme simbion dalam pengelolaan media tanah yang mengandung Fe. Integrasi tersebut relevan untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bagian dari strategi pemulihan kualitas tanah dan mendukung pengelolaan lingkungan pertanian yang berkelanjutan.

Perubahan pH Tanah

Hasil pengukuran selama 12 minggu menunjukkan peningkatan pH pada seluruh perlakuan dengan pola yang berbeda (Tabel 2). Pada awal penelitian, seluruh perlakuan memiliki pH 4,0. Perlakuan A mengalami peningkatan pH menjadi 4,2 pada minggu ke-6 dan mencapai 4,5 pada minggu ke-10 hingga akhir pengamatan, dengan perubahan total sebesar 0,5 unit. Pada perlakuan B, pH meningkat menjadi 4,2 pada minggu ke-2, 4,5 pada minggu ke-6, dan mencapai

5,0 pada minggu ke-10 hingga minggu ke-12, dengan perubahan total sebesar 1,0 unit. Peningkatan terbesar terdapat pada perlakuan C, yaitu kombinasi *Sansevieria trifasciata* dan fungi mikoriza arbuskula (FMA), dengan pH meningkat secara bertahap dari 4,0 menjadi 6,5 atau bertambah 2,5 unit. Perubahan pH pada perlakuan A menunjukkan bahwa dinamika kimia tanah juga berlangsung selama periode percobaan tanpa tanaman dan FMA. Sementara itu, peningkatan yang lebih besar pada perlakuan B dan C memperlihatkan pola perubahan pH yang berkaitan dengan keberadaan tanaman, terutama pada kombinasi tanaman dan FMA.

Tabel 2. Perubahan pH Tanah Selama 12 Minggu Proses Fitoremediasi

Perlakuan	Awal	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	10 MST	12 MST	Δ pH
A	4,0	4,0	4,0	4,2	4,2	4,5	4,5	+0,5
B	4,0	4,2	4,2	4,5	4,5	5,0	5,0	+1,0
C	4,0	4,3	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	+2,5

Keterangan: MST = minggu setelah tanam; Δ pH = selisih pH pada akhir dan awal pengamatan.

Peningkatan pH pada perlakuan yang melibatkan tanaman dapat berkaitan dengan aktivitas perakaran, penyerapan ion, dan perubahan lingkungan kimia di daerah rizosfer. Pada perlakuan C, keberadaan FMA berpotensi berkontribusi terhadap perubahan tersebut melalui interaksi simbiotik antara fungi dan akar tanaman. Wang et al. (2022) mengkaji peran FMA dan bahan pembenah tanah dalam remediasi tanah tercemar logam, sedangkan Zhang et al. (2024) menjelaskan potensi FMA dalam mendukung fitoremediasi melalui interaksi antara fungi, tanaman, dan lingkungan tanah. Dalam penelitian ini, peningkatan pH yang paling besar pada perlakuan C menunjukkan perubahan kondisi kimia tanah yang lebih nyata pada kombinasi *S. trifasciata* dan FMA. Perubahan pH juga relevan dalam menginterpretasikan konsentrasi Fe karena pH dapat memengaruhi kelarutan, spesiasi, dan ketersediaan Fe di dalam tanah. Dengan demikian, kombinasi Sansevieria trifasciata dan FMA menunjukkan peningkatan pH tanah paling besar selama 12 minggu pengamatan. Perubahan pH tersebut perlu dipertimbangkan bersama penurunan konsentrasi Fe karena pH tanah berperan dalam menentukan kelarutan dan ketersediaan Fe. Kedua parameter ini memberikan gambaran yang saling melengkapi dalam mengevaluasi perubahan kondisi kimia tanah selama proses fitoremediasi.

Kandungan C-Organik Tanah

Hasil analisis C-organik menunjukkan perubahan kandungan karbon organik tanah yang berbeda pada ketiga perlakuan setelah 12 minggu proses fitoremediasi (Tabel 3). Kandungan C-organik awal sebesar 0,47% pada seluruh perlakuan. Pada perlakuan A, kandungan C-organik akhir sebesar 0,10%, sedangkan pada perlakuan B mencapai 0,15%. Kedua perlakuan tersebut masing-masing mengalami perubahan sebesar −0,37 dan −0,32%, dengan perubahan relatif sebesar −78,72% dan −68,09%. Sebaliknya, perlakuan C yang mengombinasikan *Sansevieria trifasciata* dan FMA menunjukkan kandungan C-organik akhir sebesar 1,28%, dengan perubahan sebesar +0,81 poin persentase atau peningkatan relatif sebesar 172,34% terhadap nilai awal. Secara deskriptif, perlakuan C menunjukkan kandungan C-organik akhir tertinggi dibandingkan perlakuan A dan B. Pola ini menggambarkan perbedaan dinamika karbon organik tanah selama periode pengamatan, dengan respons yang bervariasi menurut perlakuan.

Tabel 3. Kandungan C-Organik Tanah Sebelum dan Setelah Proses Fitoremediasi

Perlakuan	C-organik awal (%)	C-organik akhir (%)	Perubahan (%)	Perubahan relatif (%)
A	0,47	0,10	−0,37	−78,72
B	0,47	0,15	−0,32	−68,09
C	0,47	1,28	+0,81	+172,34

Peningkatan kandungan C-organik pada perlakuan C menunjukkan pola perubahan karbon organik yang berbeda dibandingkan perlakuan lainnya. Kondisi ini dapat dikaji dalam kaitannya dengan interaksi antara *Sansevieria trifasciata*, FMA, dan dinamika karbon di dalam tanah. Qin et al. (2023) menjelaskan bahwa FMA berperan dalam proses penyimpanan dan stabilisasi karbon organik tanah melalui aliran karbon dari tanaman serta interaksi biologis di dalam tanah. Di sisi lain, hubungan antara akar, fungi mikoriza, dan mikroorganisme tanah turut memengaruhi proses transformasi karbon organik (Bai et al., 2024). Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan C memiliki kandungan C-organik akhir tertinggi, yaitu 1,28%, dengan peningkatan sebesar 0,81 poin persentase dibandingkan nilai awal. Pola ini memberikan gambaran mengenai dinamika karbon pada sistem tanaman–FMA selama periode pengamatan, dengan tetap mempertimbangkan karakteristik bahan pembawa inokulum yang berpotensi menyumbang karbon organik ke dalam media tanah.

Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas tukar kation (KTK) tanah meningkat pada seluruh perlakuan setelah 12 minggu proses fitoremediasi, dengan besaran perubahan yang berbeda (Tabel 4). KTK awal seluruh perlakuan sebesar 2,29 me/100 g. Pada akhir pengamatan, KTK perlakuan A mencapai 5,12 me/100 g, perlakuan B sebesar 13,91 me/100 g, dan perlakuan C sebesar 26,35 me/100 g. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan masing-masing sebesar 2,83; 11,62; dan 24,06 me/100 g, dengan perubahan relatif sebesar 123,58%; 507,42%; dan 1.050,66%. Secara deskriptif, perlakuan C yang mengombinasikan Sansevieria trifasciata dan fungi mikoriza arbuskula (FMA) menunjukkan nilai KTK akhir tertinggi, yaitu 26,35 me/100 g, dengan peningkatan sebesar 24,06 me/100 g dibandingkan nilai awal. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi tanaman dan FMA memiliki pola perubahan KTK terbesar di antara ketiga perlakuan selama periode pengamatan.

Tabel 4. Kapasitas Tukar Kation Tanah Sebelum dan Setelah Proses Fitoremediasi

Perlakuan	KTK awal (me/100 g)	KTK akhir (me/100 g)	Δ KTK (me/100 g)	Perubahan Relatif (%)
A	2,29	5,12	+2,83	+123,58
B	2,29	13,91	+11,62	+507,42
C	2,29	26,35	+24,06	+1.050,66

KTK merupakan salah satu indikator sifat kimia tanah yang menggambarkan kapasitas tanah dalam menahan dan mempertukarkan kation, termasuk Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, dan NH_4^{+}. Nilai KTK yang lebih tinggi mencerminkan kapasitas pertukaran kation yang lebih besar dan berperan penting dalam dinamika retensi serta ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Pada penelitian ini, peningkatan KTK berlangsung seiring dengan perubahan pH dan C-organik, terutama pada perlakuan C. Kandungan bahan organik berkontribusi terhadap kapasitas pertukaran kation melalui gugus fungsional bermuatan, sementara pH memengaruhi karakteristik muatan pada permukaan bahan organik dan mineral tanah. Fall et al. (2022) menjelaskan bahwa fungi mikoriza arbuskula (FMA) berperan dalam berbagai proses fisik, kimia, dan biologis tanah, termasuk dinamika karbon, transformasi unsur hara, serta interaksi antarmikroorganisme. Dalam konteks tersebut, peningkatan KTK pada perlakuan C sejalan dengan perubahan karakteristik kimia tanah pada sistem *Sansevieria trifasciata*–FMA. Keterkaitan antara KTK, pH, dan C-organik memberikan gambaran terpadu mengenai dinamika sifat kimia tanah selama proses fitoremediasi.

Perlakuan C menghasilkan KTK akhir tertinggi, yaitu 26,35 me/100 g, dengan peningkatan sebesar 24,06 me/100 g dibandingkan nilai awal. Nilai ini diikuti oleh perlakuan B sebesar 13,91 me/100 g dan perlakuan A sebesar 5,12 me/100 g. Pola tersebut menunjukkan bahwa kombinasi *S. trifasciata* dan FMA menghasilkan perubahan KTK paling besar di antara perlakuan yang diamati. Peningkatan kapasitas pertukaran kation ini menjadi aspek penting dalam

mengevaluasi perubahan sifat kimia tanah, karena KTK berkaitan dengan kemampuan tanah menahan dan mempertukarkan kation yang berperan dalam nutrisi tanaman. Dengan demikian, perubahan KTK melengkapi hasil pengamatan pH, C-organik, dan konsentrasi Fe dalam menggambarkan respons tanah terhadap perlakuan fitoremediasi.

Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman *Sansevieria trifasciata* selama 12 minggu pengamatan dievaluasi berdasarkan perubahan tinggi tanaman pada perlakuan tanpa fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan dengan aplikasi FMA. Seluruh tanaman memiliki tinggi awal 45 cm. Pada akhir pengamatan, tinggi rata-rata tanaman pada perlakuan tanpa FMA mencapai 48,33 cm, sedangkan perlakuan dengan FMA mencapai 54,33 cm. Dengan demikian, pertambahan tinggi rata-rata pada kedua perlakuan masing-masing sebesar 3,33 cm dan 9,33 cm, atau setara dengan 7,41% dan 20,74% dari tinggi awal (Tabel 5).

Tabel 5. Pertumbuhan Tinggi *Sansevieria Trifasciata* Sebelum dan Setelah Fitoremediasi

Perlakuan	Tinggi awal (cm)	Tinggi akhir (cm)	Pertambahan (cm)	Pertambahan relatif (%)
B	45	48,33	+3,33	7,41
C	45	54,33	+9,33	20,74

Secara deskriptif, tanaman pada perlakuan dengan FMA menunjukkan pertambahan tinggi rata-rata yang lebih besar dibandingkan tanaman tanpa FMA, dengan selisih sebesar 6,00 cm selama periode pengamatan. Pola ini menggambarkan respons pertumbuhan *S. trifasciata* yang berbeda pada kedua perlakuan, dengan pertambahan tinggi lebih besar pada tanaman yang memperoleh aplikasi FMA. Hasil tersebut menjadi dasar untuk mengevaluasi potensi aplikasi FMA dalam mendukung pertumbuhan tanaman selama proses fitoremediasi.

Perbedaan pertumbuhan tersebut berlangsung bersamaan dengan perubahan konsentrasi Fe dalam tanah. Berdasarkan nilai awal Fe sebesar 13,52 ppm yang diperoleh melalui perhitungan, konsentrasi Fe pada akhir pengamatan mencapai 5,45 ppm pada perlakuan B dan 2,98 ppm pada perlakuan C. Nilai tersebut menunjukkan penurunan masing-masing sebesar 8,07 ppm (59,69%) dan 10,54 ppm (77,96%) dibandingkan nilai awal yang dihitung. Dengan demikian, perlakuan C menunjukkan pertambahan tinggi tanaman dan penurunan konsentrasi Fe tanah yang lebih besar dibandingkan perlakuan B. Kedua pola tersebut menunjukkan keterkaitan antara respons pertumbuhan tanaman dan perubahan konsentrasi Fe tanah selama periode pengamatan.

Secara fisiologis, cekaman logam dapat memengaruhi keseimbangan unsur hara, fungsi perakaran, fotosintesis, dan metabolisme tanaman. Asosiasi FMA dengan akar berpotensi mendukung pertumbuhan melalui perluasan daerah eksplorasi tanah oleh hifa eksternal serta peningkatan akses terhadap air dan unsur hara, terutama fosfor. Banerjee et al. (2025) membahas potensi asosiasi FMA–tanaman dalam mendukung pertumbuhan pada kondisi cekaman logam melalui mekanisme yang berkaitan dengan penyerapan unsur hara, sistem perakaran, dan interaksi logam di daerah rizosfer. Dalam konteks penelitian ini, mekanisme tersebut memberikan landasan untuk membahas kemungkinan keterkaitan antara aplikasi FMA dan pertumbuhan *S. trifasciata*. Penjelasan mekanistik ini tetap perlu dibedakan dari hasil pengukuran langsung, karena penelitian berfokus pada tinggi tanaman dan konsentrasi Fe dalam tanah.

Secara keseluruhan, perlakuan kombinasi *S. trifasciata* dan FMA menunjukkan pertambahan tinggi tanaman yang lebih besar serta penurunan konsentrasi Fe tanah yang lebih besar dibandingkan perlakuan tanpa FMA. Temuan ini memberikan gambaran mengenai potensi aplikasi FMA dalam mendukung pertumbuhan tanaman selama fitoremediasi tanah yang mengandung Fe. Hasil tersebut juga menjadi dasar bagi penelitian lanjutan untuk mengkaji

hubungan antara pertumbuhan tanaman, perubahan sifat kimia tanah, dan distribusi Fe dalam sistem tanah–tanaman secara lebih mendalam.

KESIMPULAN

Kombinasi *Sansevieria trifasciata* dan fungi mikoriza arbuskula (FMA) sebanyak 20 g/polibag selama 12 minggu pada tanah dengan pencemaran Fe yang disimulasikan menunjukkan penurunan konsentrasi Fe tanah dari nilai awal hasil perhitungan 13,52 ppm menjadi 2,98 ppm (77,96%). Perlakuan ini juga menunjukkan pertambahan tinggi tanaman rata-rata sebesar 9,33 cm, dengan nilai akhir pH 6,5, C-organik 1,28%, dan kapasitas tukar kation (KTK) 26,35 me/100 g. Hasil penelitian ini memperkaya informasi mengenai potensi kombinasi *S. trifasciata* dan FMA sebagai pendekatan fitoremediasi, terutama ditinjau dari perubahan konsentrasi Fe, pertumbuhan tinggi tanaman, dan karakteristik kimia tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry, 2019*, Article 6730305. https://doi.org/10.1155/2019/6730305

Banerjee, S., Mandal, J., Sarkar, D., Datta, R., & Bhattacharyya, P. (2025). A review and meta-analysis of the efficacy of arbuscular mycorrhizal fungi in remediating toxic metals in mine-affected soils. *Frontiers in Environmental Science, 12*, Article 1532169. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1532169

Bai, T., Qiu, Y., & Hu, S. (2024). Nitrogen availability mediates the effects of roots and mycorrhizal fungi on soil organic carbon decomposition: A meta-analysis. *Pedosphere, 34*(2), 289–296. https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.02.007

Boorboori, M. R., & Zhang, H.-Y. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi are an influential factor in improving the phytoremediation of arsenic, cadmium, lead, and chromium. *Journal of Fungi, 8*(2), Article 176. https://doi.org/10.3390/jof8020176

Crișan, I., Balestrini, R., & Pagliarani, C. (2024). The current view on heavy metal remediation: The relevance of the plant interaction with arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Stress, 12*, Article 100439. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100439

Fall, A. F., Nakabonge, G., Ssekandi, J., Founoune-Mboup, H., Apori, S. O., Ndiaye, A., Badji, A., & Ngom, K. (2022). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: Contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil. *Frontiers in Fungal Biology, 3*, Article 723892. https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.723892

Ghaisani, A. R., Lukiwati, D. R., & Mansur, I. (2020). Respon pertumbuhan dan hasil cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) akibat inokulasi cendawan mikoriza arbuskular dan pemupukan fosfat. *Journal of Agro Complex, 4*(1), 50–59. https://doi.org/10.14710/joac.4.1.50-59

Li, G., Wu, J., Kronzucker, H. J., Li, B., & Shi, W. (2024). Physiological and molecular mechanisms of plant-root responses to iron toxicity. *Journal of Plant Physiology, 297*, Article 154257. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154257

Li, X., & Yang, Y. (2020). Preliminary study on Cd accumulation characteristics in *Sansevieria trifasciata* Prain. *Plant Diversity, 42*(5), 351–355. https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.05.001

Putra, B., Jayanegara, A., & Susanto, I. (2024). Unraveling the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth, nutrient content, and heavy metal accumulation in the contaminated soil: A meta-analysis. *Applied Environmental Research, 46*(1), Article 006. https://doi.org/10.35762/AER.2024006

Qin, Z.-F., Xie, M.-X., Zhang, Y.-L., Li, X., Li, H.-G., & Zhang, J.-L. (2023). Research progress in soil organic carbon stabilization mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 29*(4), 756–766. https://doi.org/10.11674/zwyf.2022529

Sharma, J. K., Kumar, N., Singh, N. P., & Santal, A. R. (2023). Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. *Frontiers in Plant Science, 14*, Article 1076876. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876

Trocio, D. Y. C., & Paguntalan, D. P. (2023). Review on the use of arbuscular mycorrhizal fungi in bioremediation of heavy metal contaminated soils in the Philippines. *Philippine Journal of Science, 152*(3), 1139–1159. https://doi.org/10.56899/152.03.31

Wang, F., Cheng, P., Zhang, S., Zhang, S., & Sun, Y. (2022). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and soil amendments to remediation of a heavy metal-contaminated soil using sweet sorghum. *Pedosphere, 32*(6), 844–855. https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.011

Zhang, X., Wang, Z., Lu, Y., Wei, J., Qi, S., Wu, B., & Cheng, S. (2024). Sustainable remediation of soil and water utilizing arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Microorganisms, 12*(7), Article 1255. https://doi.org/10.3390/microorganisms12071255