ANALISIS KANDUNGAN LOGAM FE PADA AIR, TANAH, DAN VEGETASI DI TAMAN WISATA SEJARAH SALATIGA

Rizkika Handayani*, Agustina Varia Suryaningsih Basompe, Rani Mariana Isu, Yodi Yuni Juwita Karibera, Sri Kasmiyati, Elizabeth Betty Elok Kristiani

Prodi Magister Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga
Jl. Diponegoro No.52-60, Salatiga 50711

*Email: rizkikahandayani25@gmail.com

Abstrak

Hasil observasi di mata air Taman Wisata Sejarah Kota Salatiga menunjukkan air berbau logam dan berendapan kuning, mengindikasikan tingginya kandungan zat besi (Fe). Resapan air bernutrisi besi berlebih ke tanah berpotensi menyumbat pori-pori tanah, memicu toksisitas yang merusak sistem perakaran, serta menyebabkan klorosis pada vegetasi sekitar. Penelitian ini bertujuan mengukur dan membandingkan kadar Fe pada media air, tanah, serta jaringan organ tumbuhan untuk menganalisis tingkat akumulasi, distribusi, dan dampaknya. Sampel air dan tanah diambil dari 4 titik lokasi, sedangkan sampel vegetasi mencakup lima jenis tumbuhan setempat: *Eichhornia crassipes*, *Ludwigia octovalvis*, *Monochoria vaginalis*, *Pennisetum purpureum*, dan *Azolla pinnata*. Pengukuran konsentrasi Fe menggunakan spektrofotometri UV-Vis melalui pembentukan kompleks Fe (II)–1,10-fenantrolin. Data dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA satu arah dan uji lanjut Tukey pada taraf 5% dengan perangkat lunak SAS versi 9.0. Hasil analisis menunjukkan rata-rata konsentrasi Fe pada air berkisar $0{,}05300$–$0{,}06400\ mg/L$, tanah $113{,}04$–$163{,}15\ mg/g$, dan jaringan tanaman $5{,}04$–$93{,}86\ mg/g$. Perbedaan konsentrasi Fe signifikan secara nyata pada kelompok tanah ($F = 218{,}86$; $p < 0{,}0001$) dan kombinasi organ-tanaman ($F = 213{,}08$; $p < 0{,}0001$), namun tidak berbeda nyata pada kelompok air ($F = 0{,}90$; $p = 0{,}4622$). Sampel tanah dekat mata air memiliki kadar Fe tertinggi, sementara bagian akar *Monochoria vaginalis* memiliki akumulasi Fe tertinggi dan berbeda nyata dari seluruh kelompok sampel vegetasi lainnya. *Monochoria vaginalis* berpotensi sebagai agen fitoremediasi alami untuk menyerap pencemaran besi. Selain itu, pengelolaan media tanah di kawasan wisata tersebut sangat diperlukan guna mencegah toksisitas yang mengganggu pertumbuhan vegetasi.

Kata kunci: Fe, Monochoria vaginalis, Fitoremediasi

Abstract

Observations at the spring in the Salatiga City Historical Tourism Park reveal water that smells metallic and contains yellow sediment, indicating a high iron (Fe) content. The infiltration of water with excessive iron into the soil can clog soil pores, trigger toxicity that damages root systems, and cause chlorosis in surrounding vegetation. This study aims to measure and compare iron (Fe) levels in water, soil, and plant tissues to analyze accumulation patterns, distribution, and associated impacts. Water and soil samples were collected from four locations, while vegetation samples comprised five local plant species: Eichhornia crassipes, Ludwigia octovalvis, Monochoria vaginalis, Axonopus compressus, and Azolla pinnata. Fe concentration was measured using UV-Vis spectrophotometry via the formation of the Fe (II)–1,10-phenanthroline complex. Data were statistically analyzed using one-way ANOVA and Tukey's post-hoc test at the 5% significance level with SAS software version 9.0. The analysis results showed that mean Fe concentrations ranged from 0.05300–0.06400 mg/L in water, 113.04–163.15 mg/g in soil, and 5.04–93.86 mg/g in plant tissue. Significant differences in Fe concentration were observed among soil groups ($F=218.86$; $p<0.0001$) and plant organ combinations ($F=213.08$; $p<0.0001$), whereas no significant difference was found among water groups ($F=0.90$; $p=0.4622$). Soil samples near the spring exhibited the highest "Fe" levels, while the root sections of Monochoria vaginalis showed the highest "Fe" accumulation, differing significantly from all other vegetation sample groups. Monochoria vaginalis has potential as a natural phytoremediation agent for absorbing iron pollution. Furthermore, management of the soil medium in the tourism area is essential to prevent toxicity that could hinder vegetation growth.

***Keywords**: Fe, Monochoria vaginalis, Phytoremediation*

PENDAHULUAN

Mata air dan lingkungan sekitarnya merupakan habitat bagi vegetasi perairan dan lahan basah. Kandungan unsur dalam air dan tanah berhubungan dengan kondisi kimia lingkungan tempat tanaman tumbuh. Pengukuran unsur pada air, tanah, dan organ tanaman diperlukan untuk mendeskripsikan distribusinya pada komponen lingkungan tersebut. Pengamatan di sekitar mata air Taman Wisata Sejarah Kota Salatiga menunjukkan adanya bau logam dan endapan berwarna kuning menyerupai karat pada permukaan air. Air yang di dalamnya terkandung besi dapat menyebabkan air beralih menjadi kuning kecokelatan setelah terpapar udara dari waktu ke waktu. Selain itu, adanya kandungan besi di dalam air dapat menimbulkan bau yang menyengat, perubahan warna kuning (Earnestly, 2018). Gejala tersebut menjadi dasar dugaan keberadaan besi (Fe) dan pelaksanaan analisis konsentrasinya. Informasi mengenai kandungan Fe pada air, tanah, dan vegetasi setempat diperlukan sebagai dasar karakterisasi lingkungan mata air. Batas maksimum Fe di air yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu sebesar 1 mg/L sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI No.32 Tahun 2017 (Royani & Fitriana, 2025).

Pada tanah yang masam dengan pH 4,5–5,5 cenderung memiliki kadar besi (Fe) yang tinggi sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Kelebihan besi dapat menyebabkan perubahan warna daun menjadi kuning kemerahan hingga cokelat, menurunkan kandungan klorofil dan gula larut total, serta mengganggu proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman (Sitompul *et al*., 2023). Terdapat tanaman yang mampu menyerap dan mengakumulasi kontaminan, terutama logam berat, pada akar, batang, maupun daun melalui proses fitoremediasi. Tanaman ini memiliki ciri-ciri berupa tahan terhadap logam berat, siklus hidup pendek, persebaran luas, biomassa tunas besar, dan faktor translokasi lebih dari satu (Widyasari, 2021).

Proses akumulasi logam berat berlangsung melalui tiga tahap, yaitu penyerapan logam terlarut oleh akar, translokasi logam ke bagian tanaman lain melalui jaringan pengangkut xilem dan floem, serta lokalisasi atau penyimpanan logam pada organ dan jaringan tertentu untuk mengurangi risiko keracunan dan gangguan metabolisme tanaman (Priantoro *et al*., 2025). Tanaman air memiliki adaptasi berupa jaringan aerenkim yang membantu menyalurkan oksigen dari bagian atas tanaman menuju akar. Sebagian oksigen dilepaskan ke lingkungan sekitar akar melalui proses *radial oxygen loss* (ROL), sehingga besi terlarut dalam bentuk Fe^{2+} mengalami oksidasi menjadi Fe^{3+} dan membentuk plak besi pada permukaan akar. Plak besi tersebut dapat mengikat dan mengakumulasi unsur logam, sehingga berpotensi mengurangi penyerapan kontaminan oleh tanaman (Li *et al*., 2022). Pada tanaman lahan basah, Fe juga dapat membentuk lapisan pada permukaan akar yang dikenal sebagai *iron plaque.* Jia *et al*. (2018) melaporkan peran lapisan tersebut dalam pengaturan Fe, mangan, dan fosfor pada *Glyceria spiculosa*. Dengan demikian, pengukuran pada beberapa organ tanaman, disertai analisis air dan tanah, menyediakan informasi mengenai distribusi Fe pada lingkungan tempat tanaman tumbuh.

Penelitian ini bertujuan menentukan konsentrasi Fe pada air, tanah, dan jaringan lima jenis tanaman di sekitar mata air Taman Wisata Sejarah Kota Salatiga serta membandingkan konsentrasi Fe antarkelompok air, antar kelompok tanah, dan antarkombinasi jenis tanaman dan organ.

METODE

Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di sumber mata air Taman Wisata Sejarah Kota Salatiga dan Laboratorium Biokimia, Fakultas Biologi Universitas Kristen satya Wacana Salatiga. Penelitian ini berlangsung pada bulan April – Juli 2026. Penelitian ini bersifat observasional dengan melakukan pengukuran konsentrasi Fe pada sampel air, tanah, dan tanaman.

Pengambilan dan Identifikasi Sampel

Pengambilan sampel air dan tanah terdiri atas empat titik lokasi yaitu titik lokasi 1 berada pada sumber mata air, titik lokasi 2 berada pada bagian tengah, titik lokasi 3 yaitu bagian pinggir, dan titik lokasi 4 berada pada aliran akhir. Pengambilan air menggunakan volume 100 mL, sedangkan tanah diambil pada kedalaman 10 cm dengan massa 100 g.



Gambar 1. Titik Lokasi Pengambilan Sampel Air dan Tanah

Sampel tanaman diambil 5 jenis yang paling dominan tumbuh disekitar lahan tersebut yaitu (a) *Eichhornia crassipes,* (b) *Ludwigia octovalvis,* (c) *Monochoria vaginalis*, (d) *Axonopus compressus,* dan (e) *Azolla pinnata.*



(a) (b) (c) (d) (e)

Gambar 2. Sampel Tanaman

Tanaman yang dianalisis meliputi *Eichhornia crassipes, Ludwigia octovalvis, Monochoria vaginalis, Axonopus compressus,* dan *Azolla pinnata.* Organ yang dianalisis terdiri atas akar, batang, dan daun. Setiap kombinasi jenis tanaman dan organ terdiri atas lima sampel, sehingga jumlah sampel tanaman sebanyak 30 sampel.

Prinsip Analisis dan Larutan Pereaksi

Penentuan Fe menggunakan spektrofotometri UV-Vis mengacu pada penelitian (Sugiarso & Dianawati, 2015) dengan penyesuaian matriks gabah menjadi organ tanaman. Prinsip analisis meliputi reduksi Fe (III) menjadi Fe (II) menggunakan natrium tiosulfat dan pembentukan kompleks Fe (II) dengan 1,10-fenantrolin. EDTA digunakan sebagai agen penopeng, sedangkan buffer asetat pH 4,5 digunakan untuk mengatur pH larutan. Larutan stok pada prosedur acuan terdiri atas Fe (III) 100 mg/L, $Na_2S_2O_3$ 100 mg/L, 1,10-fenantrolin 1.000 mg/L, dan EDTA 100 mg/L. Aseton dan air demineralisasi digunakan sebagai pelarut.

Spektrofotometri UV-Vis merupakan metode yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan di laboratorium pendidikan. Analisis Fe dapat dilakukan melalui pembentukan kompleks $Fe(SCN)_3$ berwarna merah dengan KSCN, yang diukur pada panjang gelombang sekitar 470–480 nm (Fahmi *et al*., 2022).

Preparasi Sampel Tanaman

Preparasi tanaman mengacu pada pengeringan pada suhu 110 °C selama sekitar 120 menit, penggilingan, dan pengayakan. Pada prosedur acuan, 1 gr sampel didestruksi menggunakan HCl pekat pada suhu 90 °C selama 2 jam. Larutan didinginkan, disaring, dan filtrat ditepatkan hingga 25 mL dengan air demineralisasi (Sugiarso & Dianawati, 2015). Adaptasi preparasi organ tanaman

meliputi prosedur pencucian akar, batang, dan daun, kondisi pengeringan, massa sampel, volume HCl, ukuran ayakan, dan volume akhir

Preparasi Sampel Tanah

Preparasi tanah mengacu pada pengeringan pada suhu 110 °C selama 24 jam dan pengayakan menggunakan ayakan 200 mesh. Destruksi dilakukan dengan aqua regia, yaitu campuran HNO_3 dan HCl pada perbandingan volume 1:3, pada suhu 130 °C selama 2 jam. Larutan didinginkan dan disaring, kemudian filtrat ditepatkan hingga 25 mL dengan air demineralisasi (Sugiarso & Dianawati, 2015). Massa tanah dan volume aqua regia yang digunakan masing-masing sebesar 1 g dan volume 6 mL.

Preparasi Sampel Air

Preparasi air mengacu pada destruksi menggunakan HNO_3 pekat pada suhu 130 °C hingga volume larutan berkurang. Larutan didinginkan, ditambahkan air demineralisasi, dan disaring. Filtrat ditepatkan hingga 100 mL (Dianawati & Sugiarso, 2015). Volume air awal dan HNO_3 yang digunakan masing-masing sebesar 0,2 ml dan 0,8 mL.

Pembentukan Kompleks Dan Kurva Kalibrasi

Aliquot standar atau sampel direaksikan dengan $Na_2S_2O_3$, 1,10-fenantrolin, EDTA, dan buffer asetat pH 4,5. Berdasarkan prosedur acuan, campuran didiamkan selama 60 menit, kemudian ditambahkan aseton dan air demineralisasi hingga tanda batas. Volume aseton pada penentuan panjang gelombang dan standar dalam prosedur acuan sebesar 5 mL (Sugiarso & Dianawati, 2015) Volume aliquot, masing-masing pereaksi, aseton, dan volume akhir reaksi pada pengukuran sampel adalah [rincian volume]. Sugiarso & Dianawati (2015) menentukan panjang gelombang maksimum melalui pemindaian pada 400–600 nm dan memperoleh maksimum pada 509 nm. Standar pada prosedur acuan terdiri atas 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/L. Pengukuran penelitian menggunakan instrumen pada panjang gelombang nm dengan rentang standar. Kurva kalibrasi disusun dari hubungan antara konsentrasi standar dan absorbansi, dengan persamaan regresi serta koefisien determinasi [R^2].

Perhitungan Konsentrasi

Konsentrasi Fe dalam larutan ukur ditentukan berdasarkan persamaan regresi kurva kalibrasi. Konsentrasi Fe tanah dan tanaman dihitung dengan mengalikan konsentrasi larutan ukur dalam mg/L, volume hasil destruksi dalam liter, dan faktor pengenceran, kemudian membaginya dengan massa sampel dalam gram. Konsentrasi Fe air dihitung dengan memperhitungkan konsentrasi larutan ukur, perbandingan volume akhir preparasi terhadap volume air awal, serta faktor pengenceran. Hasil dinyatakan dalam mg/L untuk air dan mg/g untuk tanah serta tanaman.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan SAS versi 9.0 melalui PROC GLM dengan ANOVA satu arah. Analisis dilakukan secara terpisah untuk air, tanah, dan tanaman. Faktor kelompok terdiri atas empat kelompok air, empat kelompok tanah, dan 12 kombinasi jenis tanaman dan organ. Jumlah pengamatan masing-masing sebanyak 20, 20, dan 60, dengan lima sampel pada setiap kelompok. Perbandingan rata-rata antarkelompok menggunakan uji Tukey HSD pada taraf signifikansi 5%. Kelompok yang memiliki sekurangnya satu huruf sama dinyatakan tidak berbeda nyata. Rata-rata air disajikan sesuai ringkasan analisis SAS. Konsentrasi tanah dan tanaman disajikan sebagai rata-rata ± simpangan baku (SD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Anova

ANOVA menunjukkan perbedaan nyata konsentrasi Fe antar kelompok tanah dan antar kombinasi jenis tanaman dan organ. Perbedaan konsentrasi Fe antar kelompok air tidak nyata pada taraf 5%

Tabel 1. Hasil ANOVA konsentrasi Fe pada air, tanah, dan tanaman

Matriks	Kelompok	N	db kelompok	db galat	F	p
Tanaman–organ	12	60	11	48	213,08	< 0,0001
Tanah	4	20	3	16	218,86	< 0,0001
Air	4	20	3	16	0,90	0,4622

N: jumlah pengamatan; db: derajat bebas. Analisis setiap matriks dilakukan secara terpisah.

Konsentrasi Fe pada Air

Rata-rata konsentrasi Fe air berkisar antara 0,05300 dan 0,06400 mg/L. Konsentrasi tertinggi terdapat pada aliran tengah, sedangkan terendah pada aliran samping. Perbedaan antarkelompok air tidak nyata, F (3,16) = 0,90; p = 0,4622. Seluruh kelompok air memiliki huruf Tukey yang sama.

Tabel 2. Konsentrasi Fe dan kelompok Tukey pada sampel air

Lokasi	Kode	n	Rata-rata Fe (mg/L)	Tukey
Sumber Mata Air	T.L 1	5	0,05800	a
Aliran Tengah	T.L 2	5	0,06400	a
Aliran Samping	T.L 3	5	0,05300	a
Aliran Akhir	T.L 4	5	0,05980	a

Rata-rata berdasarkan analisis SAS 9.0. n: jumlah sampel. Huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Tukey pada taraf 5%

Konsentrasi Fe pada Tanah

Rata-rata konsentrasi Fe tanah berkisar antara 113,04 sampai 163,15 mg/g, dengan urutan TL.4 > TL.2 > TL.3 > TL.1. Perbedaan antar kelompok tanah nyata, F (3,16) = 218,86; p < 0,0001. TL.3 dan TL.2 dan TL.4 berbeda nyata sedangkan TL.1 dan TL.3 tidak berbeda nyata.

Tabel 3. Konsentrasi Fe dan kelompok Tukey pada Sampel Tanah

Lokasi	Kode	n	Rata-rata Fe (mg/g) ± **SD**	Tukey
Sumber Mata Air	T.L 1	5	0,05800	c
Aliran Tengah	T.L 2	5	0,06400	b
Aliran Samping	T.L 3	5	0,05300	c
Aliran Akhir	T.L 4	5	0,05980	a

Nilai disajikan sebagai rata-rata ± SD. n: jumlah sampel. Huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Tukey pada taraf 5%.

Konsentrasi Fe pada Tanaman

Rata-rata konsentrasi Fe tanaman berkisar antara 5,04 dan 93,86 mg/g. Konsentrasi tertinggi terdapat pada akar *Monochoria*, sedangkan terendah pada daun rumput gajah (Tabel 4). Perbedaan antarkombinasi jenis tanaman dan organ nyata, F(11,48) = 213,08; p < 0,0001. Akar *Monochoria* berbeda nyata dari seluruh kelompok tanaman lainnya. Daun *Ludwigia* tidak berbeda nyata dari daun *Monochoria*, tetapi berbeda nyata dari batang *Monochoria*. Daun dan batang *Monochoria* tidak berbeda nyata. Pada eceng gondok, daun dan akar tidak berbeda nyata, sedangkan keduanya berbeda nyata dari batang. Pada *Ludwigia*, konsentrasi Fe daun berbeda nyata dari akar dan batang, sedangkan akar dan batang tidak berbeda nyata. Akar dan daun rumput gajah, bagian *Azolla*, batang eceng gondok, serta akar dan batang *Ludwigia* berada dalam kelompok Tukey yang sama.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Fe pada air tidak berbeda nyata antar lokasi, sedangkan konsentrasi Fe pada tanah serta kombinasi jenis tanaman dan organ menunjukkan perbedaan yang nyata. Konsentrasi Fe pada air berkisar antara 0,05300–0,06400 mg/L dan masih berada di bawah batas maksimum 1 mg/L yang digunakan dalam penelitian. Tidak adanya perbedaan nyata pada air menunjukkan bahwa distribusi Fe terlarut relatif seragam pada empat titik pengamatan. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh pergerakan air dan karakteristik Fe yang dapat berada dalam bentuk terlarut, koloid, maupun tersuspensi. Oleh karena itu, konsentrasi Fe dalam air

tidak selalu menggambarkan jumlah Fe yang tersedia bagi tanaman. Hasil dokumentasi dari 4 titik lokasi yang diambil sampel terlihat pada Gambar 1.

Tabel 4. Konsentrasi Fe dan kelompok Tukey pada organ tanaman

Tanaman	Organ	Kode	Rata-rata Fe (mg/g) ± SD	Tukey
Eichhornia crassipes	Akar	AEC	19,83 ± 3,69	d
	Batang	BEC	6,38 ± 1,02	e
	Daun	DEC	26,55 ± 4,08	d
Ludwigia octovalvis	Akar	ALO	9,53 ± 2,22	e
	Batang	BLO	5,99 ± 0,46	e
	Daun	DLO	50,86 ± 10,45	b
Monochoria vaginalis	Akar	AM	93,86 ± 2,40	a
	Batang	BM	38,32 ± 6,68	c
	Daun	DM	47,33 ± 3,00	bc
Axonopus compressus	Akar	AAC	6,08 ± 0,69	e
	Daun	DAC	5,04 ± 1,65	e
Azolla pinnata	Daun	AH	5,86 ± 0,98	e

Nilai disajikan sebagai rata-rata ± SD; n = 5 pada setiap kelompok. Kelompok yang memiliki sekurangnya satu huruf sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey pada taraf 5%. Organ *Azolla* mengikuti pencatatan sampel.

.



(a) Sumber Air (b) Aliran Tengah (c) Aliran Samping (d) Aliran Akhir

Gambar 3. Lokasi Aliran Air

Berbeda dengan konsentrasi Fe tanah menunjukkan perbedaan yang sangat nyata (F=218,86; p<0,0001). Konsentrasi tertinggi ditemukan pada aliran akhir sebesar 163,15 ± 6,15 mg/g, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada sumber mata air sebesar 113,04 ± 3,07 mg/g. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya variasi akumulasi Fe pada media tanah sepanjang aliran. Kondisi redoks dan pH tanah berperan penting terhadap ketersediaan Fe. Pada kondisi tergenang atau miskin oksigen, Fe^{3+} dapat direduksi menjadi Fe^{2+} yang lebih mudah larut dan tersedia bagi tanaman. Sebaliknya, ketika kondisi lebih teroksigenasi, Fe^{2+} dapat mengalami oksidasi dan membentuk senyawa Fe (III) yang lebih sulit larut. Kondisi tersebut menjelaskan bahwa tingginya Fe total dalam tanah tidak selalu menunjukkan tingginya Fe yang tersedia bagi tanaman (Aung *et al*., 2024)

Perbedaan konsentrasi Fe pada organ tanaman juga sangat nyata (F=213,08; p<0,0001). Konsentrasi tertinggi ditemukan pada akar *Monochoria vaginalis*, yaitu 93,86 ± 2,40 mg/g, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada daun *Axonopus compressus* sebesar 5,04 ± 1,65 mg/g. Tingginya akumulasi Fe pada akar *Monochoria vaginalis* menunjukkan bahwa akar berperan penting dalam penahanan atau akumulasi Fe sebelum unsur tersebut ditranslokasikan ke bagian tanaman lainnya. Pola ini sejalan dengan penelitian (Ismail *et al*., 2024) yang menunjukkan bahwa *Monochoria vaginalis* memiliki kemampuan dalam fitoremediasi air limbah dan mampu berperan dalam penghilangan Fe serta beberapa logam lainnya. Akumulasi Fe yang tinggi pada akar *Monochoria vaginalis* juga dapat berkaitan dengan mekanisme adaptasi tanaman lahan basah. Tanaman air memiliki jaringan aerenkim yang membantu transportasi oksigen menuju akar. Oksigen yang dilepaskan melalui *radial oxygen loss* (ROL) dapat mengoksidasi Fe^{2+} di sekitar permukaan

akar menjadi Fe^{3+} dan membentuk iron plaque (Astria *et al*., 2025). Lapisan tersebut dapat menjadi tempat pengikatan Fe dan unsur lainnya sehingga memengaruhi mobilitas serta penyerapan logam oleh tanaman. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembentukan *iron plaque* berperan dalam mengendalikan mobilitas logam pada zona perakaran tanaman lahan basah. Pada lingkungan basah, peningkatan ROL dapat meningkatkan pembentukan lapisan Fe pada permukaan akar dan membantu mengimobilisasi logam (He *et al*., 2024).

Pola distribusi Fe pada masing-masing tanaman juga menunjukkan adanya perbedaan karakteristik antarspesies. Pada *Monochoria vaginalis*, konsentrasi tertinggi ditemukan pada akar, sedangkan pada *Ludwigia octovalvis* dan *Eichhornia crassipes* konsentrasi relatif tinggi ditemukan pada daun. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap jenis tanaman memiliki kemampuan penyerapan, penyimpanan, dan translokasi Fe yang berbeda. Fitoremediasi dapat bekerja dengan baik selama terpenuhinya kebutuhan sinar matahari, nutrisi spesifik untuk pertumbuhan tanaman, suhu, kelembaban, dan sebagainya.

Meskipun Fe merupakan unsur esensial bagi tanaman, akumulasi yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan fisiologis. Pada kondisi tanah masam dan tergenang, ketersediaan Fe dapat meningkat sehingga risiko toksisitas juga semakin besar (Soleha *et al*., 2023). Kelebihan Fe dapat memicu pembentukan spesies oksigen reaktif yang berpotensi menyebabkan kerusakan sel dan menghambat pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, tingginya akumulasi Fe pada *Monochoria vaginalis* dalam penelitian ini tidak secara langsung menunjukkan bahwa Fe memberikan dampak negatif terhadap tanaman, tetapi menunjukkan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap atau menahan Fe pada kondisi lingkungan.

Berdasarkan keseluruhan hasil, *Monochoria vaginalis* memiliki potensi sebagai tanaman fitoremediasi Fe, terutama karena konsentrasi Fe tertinggi ditemukan pada bagian akarnya. Namun, hasil penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyatakan efisiensi penghilangan Fe dari lingkungan secara langsung. Penentuan efektivitas fitoremediasi memerlukan pengukuran biomassa tanaman, perubahan konsentrasi Fe pada media sebelum dan sesudah perlakuan, serta perhitungan faktor biokonsentrasi atau faktor translokasi. Dengan demikian, penelitian ini lebih tepat menunjukkan pola distribusi dan akumulasi Fe pada lingkungan dan jaringan tanaman di lokasi penelitian

SIMPULAN

Rata-rata konsentrasi Fe di sekitar mata air Taman Wisata Sejarah Kota Salatiga berkisar antara 0,05300 dan 0,06400 mg/L pada air, 113,04 dan 163,15 mg/g pada tanah, serta 5,04 dan 93,86 mg/g pada tanaman. Konsentrasi Fe berbeda nyata antar kelompok tanah dan antar kombinasi jenis tanaman dan organ, sedangkan perbedaan antar kelompok air tidak nyata. Akar *Monochoria* memiliki konsentrasi Fe tertinggi dan berbeda nyata dari seluruh kelompok tanaman lainnya. Pada tanah lokasi tengah memiliki konsentrasi tertinggi, sedangkan lokasi sumber mata air dan aliran samping tidak berbeda nyata.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Biologi Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak/Ibu dosen yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama proses penelitian. Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman dan seluruh pihak yang telah membantu serta memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Dukungan dan bantuan yang diberikan sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Astria, A., Yofran, Y. P., Ngama, Y. E., Bhaghi, E. J. L., & Wae, V. P. S. M. (2025). The impact of environmental stress on plant cell structure and function. *Jurnal Biologi Tropis*, *25*(4b), 533–538. https://doi.org/10.29303/jbt.v25i4b.10981

Aung, M. S., Wairich, A., & Ricachenevsky, F. K. (2024). Editorial: Recent advances in iron excess toxicity and its interaction with metals in plants. *Frontiers in Plant Science*, *15*. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1524947

Earnestly, F. (2018). Analisa suhu, Ph dan kandungan logam besi pada sumber air tanah di kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (Umsb) Padang. *Menara Ilmu : Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah*, *12*(1). https://doi.org/10.33559/mi.v12i1.503

Fahmi, A., Kurniawan, W. B., & Indriawati, A. (2022). Uji linieritas kalium tiosianat (KSCN) sebagai indikator kolorimetri untuk mendeteksi konsentrasi Fe pada air. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, *2*(2), 26–30. https://doi.org/10.33019/jrfi.v2i2.3215

He, Z., Chen, J., Yuan, S., Chen, S., Hu, Y., Zheng, Y., & Li, D. (2024). Iron plaque: a shield against soil contamination and key to sustainable agriculture. *Plants*, *13*(11), 1476. https://doi.org/10.3390/plants13111476

Ismail, F., Abd Razak, A. S., Mohamad Termizi, A. S. A., Nasarudin, M. A. S., & Sulaiman, S. (2024). Enhanced phytoremediation of domestic wastewater using lepironia articulata, monochoria vaginalis and typha angustifolia: comparative performance and efficacy. *Journal UMP*, *4*(2). https://doi.org/ttps://doi.org/10.15282/construction.v4i2.11016

Jia, X., Otte, M. L., Liu, Y., Qin, L., Tian, X., Lu, X., Jiang, M., & Zou, Y. (2018). Performance of iron plaque of wetland plants for regulating iron, manganese, and phosphorus from agricultural drainage water. *Water*, *10*(1), 42. https://doi.org/10.3390/w10010042

Li, Y., Zhang, Z., Yang, G., Zu, Y., Li, B., & Chen, J. (2022). The relationship between the radial oxygen loss and the iron plaque on root surfaces to wetland plants absorb heavy metals. Ecology and Environment, 31(8), 1657–1666

Priantoro, E. A., Suryaatmana, P., Sumiarsa, D., Widyarani, Butar, E. S. B., & Sembiring, T. (2025). Fitoremediasi logam berat sistem lahan basah terapung menggunakan tanaman akar wangi (*Chryzophogon zizanioides* (L.) Roberty) sebagai hiperakumulator. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *26*(1), 114–127. https://doi.org/10.55981/jtl.2025.5052

Royani, S., & Fitriana, A. S. (2025). Kadar logam besi (Fe) dalam air di lingkungan sekitar tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) Kaliori Kabupaten Banyumas. *CENDEKIA : Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Ilmiah*, *2*(1), 74–80. https://doi.org/10.62335/w4f2rv41

Sitompul, K. N., Kusumiyati, & Mubarok, S. (2023). Pengaruh jenis dan konsentrasi pupuk fe terhadap pertumbuhan tomat 'red beefsteak.' *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 285–295. https://doi.org/10.24002/biota.v8i3.7044

Soleha, N., Priatmadi, B. J., & Mariana, Z. T. (2023). Perubahan pH, Fe-larut, dan P-tersedia di tanah sulfat masam aktual (sulfaquept) yang diberi pupuk kandang sapi dan genangan air. *Acta Solum*, *1*(2), 53–60. https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i2.1838

Sugiarso, R. D., & Dianawati, N. (2015). Penentuan kadar besi selama fase pematangan padi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *Akta Kimia Indonesia*, *2*(1), 52. https://doi.org/10.12962/j25493736.v2i1.2112

Widyasari, N. L. (2021). Kajian tanaman hiperakumulator pada teknik remediasi lahan tercemar logam berat. *Jurnal Ecocentrism*, *1*(1), 17–24. https://doi.org/10.36733/jeco.v1i1.1748