

EFEKTIVITAS DAN MODEL ISOTERM ADSORPSI Fe DAN Mn OLEH MATA LELE (*Lemna minor*)

Ali Aulia Ghozali¹⁾, Lulu Alfatih Sohra²⁾, Dewi Eviane³⁾

^{1),2),3)} Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi
Yogyakarta
email: aliauliaghozali@ity.ac.id¹⁾, lulualfatih@gmail.com²⁾, de.eviane@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Salah satu teknik untuk menurunkan kadar logam dalam air adalah fitoremediasi, dan mata lele (*Lemna minor*) berpotensi untuk digunakan sebagai agen bioremediasi. Penelitian ini bertujuan mengukur efektivitas tanaman mata lele dalam meremediasi kandungan logam dalam air sumur, serta mengevaluasi model isoterm adsorpsinya. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan November 2022 hingga Maret 2023. Sampel diambil secara komposit dari sumur warga di Dukuh Baran, Kalurahan Srihardono. Variabel yang diukur adalah pH, kadar Fe dan Mn, kesadahan, temperatur, serta *coli* tinja. Hasil penelitian menunjukkan pada kondisi eksisting air sumur sampling, tanaman mata lele mampu secara efektif menurunkan konsentrasi Mn pada air sumur, sebaliknya tidak ditemukan perbedaan yang signifikan pada konsentrasi Fe, sebab konsentrasinya yang memang sudah rendah. Pada konsentrasi 100 ppm untuk kedua logam, mata lele mampu mengadsorpsi kedua logam dengan efektivitas penjerapan 86-94%. Kajian model isoterm adsorpsi menunjukkan logam Mn mampu termodelkan dengan baik dengan model isoterm adsorpsi Freundlich, sebaliknya logam Fe tidak termodelkan dengan baik.

Kata kunci: Fe, fitoremediasi, isoterm adsorpsi Freundlich, mata lele, Mn.

EFFECTIVENESS AND ISOTHERM MODELS OF Fe AND Mn ADSORPTION BY DUCKWEEDS (*Lemna minor*)

ABSTRACT

One of the techniques to reduce metal content in water is phytoremediation, and duckweed (*Lemna minor*) has the potency to be applied as the bioremediator agent. This study aimed to measure the effectiveness of the duckweed to reduce metal content in well water, as well as evaluate its adsorption isotherm model. This research was conducted from November 2022 to March 2023. Composite samples were taken from residents' wells in Dukuh Baran, Kalurahan Srihardono. The variables were pH, Fe and Mn concentration, water hardness, temperature, and faecal coliform. The results showed that under the existing conditions of the sampling well water, the duckweed were able to effectively reduce the concentration of Mn in the well water, on the other hand, there was no significant difference in the concentration of Fe, due to its already low concentration level. At 100 ppm for both metals, duckweeds were able to adsorb both metals with an adsorption effectiveness of 86-94%. Adsorption isotherm model studies showed that Mn adsorption was able to be modeled well with the Freundlich adsorption isotherm model, whereas Fe metal was unsuccessful.

Keywords: duckweed, Fe, Freundlich adsorption isotherm, Mn, phytoremediation.

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu elemen pokok dalam aspek kesehatan dan sanitasi masyarakat. Oleh sebab itu, penyediaan air bersih yang sesuai dengan peruntukannya menjadi faktor elemen penting. Salah satu teknologi tepat guna yang dapat dimanfaatkan secara sederhana untuk penyediaan air bersih adalah penggunaan bantuan tanaman sebagai bioremediator (fitoremediasi). Fitoremediasi umum dilakukan pada kondisi media yang sudah lebih ramah bagi organisme tanaman untuk mempertahankan keberlangsungan metabolismenya. Tanaman yang berperan sebagai agen bioremediator berperan sebagai hiperakumulator senyawaan kontaminan yang ada. Gejala akumulasi ini terjadi pada jenis-jenis cemaran seperti ion logam. Namun, senyawaan yang bersifat organik dan anorganik lainnya dapat diolah oleh tanaman maupun mikroorganisme terkait sebagai sumber energi. Keuntungan menggunakan teknik fitoremediasi antara lain, lebih ekonomis, dapat dilanjutkan dengan pemanenan logam (*phytomining*), dan mereduksi persebaran kontaminan yang bersifat metalik (Das, 2018; Vasavi, Usha, & Swamy, 2010; Sumiahadi & Acar, 2018; Yan, et al., 2020).

Fitoremediasi memanfaatkan organisme tanaman utuh sebagai penjerap unsur maupun senyawaan xenobiotik. Untuk memanfaatkan teknik fitoremediasi ini, dipergunakan tanaman-tanaman yang dapat tumbuh di air secara cepat. Salah satu tanaman tersebut adalah mata lele (*Lemna minor*) (Imron, Kurniawan, Soegianto, & Wahyudianto, 2019). Tanaman mata lele telah dilaporkan memiliki kemampuan jerap yang tinggi, seperti Fe, Cr, Cd, Zn, dan Pb (Imron, Kurniawan, Soegianto, & Wahyudianto, 2019; Januar, Annas, Rahmawati, Irwanto, & Ghozali, 2013; Kurniawan & Aunurohim, 2014). Tidak hanya menjerap logam, tanaman mata lele juga diketahui mengurangi cemaran-cemaran organik dan anorganik lainnya (Imron, Kurniawan, Soegianto, & Wahyudianto, 2019; Li, Zheng, Huang, & Ni, 2011). Mata lele (*Lemna minor*) merupakan sejenis tanaman air yang mengapung, berbentuk lembar-lembar daun yang tebal, berbentuk oval, dan berukuran kecil.

Mata lele secara taksonomi tergolong ke dalam keluarga Lemnoidae, seperti *water lentils* dan *water lenses*. Morfologi tanaman mata lele secara garis besar terdiri dari 2 bagian utama, yakni bagian daun dan akar. Bagian yang menyerupai daun berisi struktur yang tebal berongga, menyebabkan tumbuhan ini mampu mengapung di permukaan air. Sementara itu, bagian akar tanaman berbentuk seperti serabut-serabut halus. Perkembangbiakan tanaman mata lele dilakukan secara aseksual, yakni dengan menumbuhkan tunas-tunas yang berada pada bagian meristem (Yang, et al., 2020). Tanaman mata lele pada genus *Wolffia* dilaporkan memiliki kandungan protein yang besar, berkisar 20-30% pada bobot berat keringnya (Appenroth, et al., 2018). Mengingat tingginya konten protein, maka tanaman mata lele berpotensi bertindak sebagai agen pengelat ion logam. Berbagai laporan telah diterbitkan mengenai kemampuan tanaman mata lele (*Lemna minor*) dalam mengabsorpsi ion logam, seperti As, Pb, dan Cr (Januar, Annas, Rahmawati, Irwanto, & Ghozali, 2013; Li, Zheng, Huang, & Ni, 2011; Kaur & Kanwar, 2022).

Sebagai bahan uji, diambil sampel air sumur warga dari Desa Srihardono, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta. Indeks kualitas air sumur milik warga kemudian dievaluasi menggunakan Indeks Pencemaran (IP_i) dan STORET dengan parameter utama kadar logam Fe dan Mn, serta parameter pendukung lainnya seperti suhu, pH, *coli* tinja, dan kesadahan untuk tambahan *profiling background* sampel. Selanjutnya, dilakukan pengukuran efektivitas absorpsi logam oleh tanaman mata lele (*Lemna minor*) diteliti untuk perbaikan kualitas air tanah dangkal, terutama dari segi adsorpsi logam. Selanjutnya, ditelaah juga perilaku adsorpsi logam oleh mata lele menggunakan model isotherm adsorpsi Freundlich.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Baran, Kalurahan Srihardono, Kapénawon Pundong, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta. Sampel air diambil di beberapa titik di Dukuh Baran pada beberapa RT. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan secara sengaja (*purposive*) dengan pertimbangan kemudahan

akses menuju tempat pengambilan sampel. Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2022 – Februari 2023.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi dan studi literatur. Observasi dilakukan pada lokasi pengambilan air sampel dan pengukuran akapsitas absorpsi logam oleh tanaman mata lele. Air yang telah diabsorpsi kemudian dianalisis menggunakan AAS. Untuk mengevaluasi kapasitas absorpsi logam oleh tanaman mata lele dibuat set perancangan percobaan, dengan variabel bebas berupa: (1) jumlah tumbuhan mata lele (2) waktu pengambilan sampel air. Ulangan sampel dilakukan secara simplo (Tabel 1) berisi kombinasi perlakuan jumlah tumbuhan dan kondisi penyimpanan selama percobaan. Selama percobaan, air dimasukkan ke dalam wadah gelas ukur 250 mL yang diselubungi plastik berwarna hitam. Volume air sampel yang digunakan sebanyak 150 mL. Terdapat 2 jenis air sampel yang digunakan, yakni sampel komposit air sumur dan sampel komposit dengan tambahan 100 ppm Fe atau Mn.

Persentase keterjerapan didefinisikan sebagai selisih konsentrasi ion logam pada air sumur komposit setelah dilakukan perendaman dengan sejumlah besar mata lele, dibandingkan dengan konsentrasi mula-mula. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$\%_{adsorpsi} = \frac{[logam]_t}{[logam]_0} \times 100\%$$

Keterangan:

$\%_{adsorpsi}$: persentase adsorpsi (%)

$[logam]_t$: konsentrasi logam pada waktu ke- t (mg/L)

$[logam]_0$: konsentrasi logam mula-mula (mg/L)

Parameter lain yang dihitung adalah jumlah ion logam terjerap terhadap bobot mata lele yang digunakan. Parameter ini digunakan untuk melihat tingkat efisiensi penjerapan per bobot adsorben.

$$W = \frac{w_{logam} (mg)}{w_{adsorben} (g)} = \frac{([logam]_0 - [logam]_t) \times V_{sampel}}{w_{adsorben} (g)}$$

Keterangan:

W : rasio bobot logam terjerap (mg) terhadap bobot adsorben (g)

V_{sampel} : volume yang digunakan dalam pengujian (L)

$w_{adsorben}$: bobot adsorben (g)

Isoterm Freundlich digunakan untuk mengevaluasi konstanta kesetimbangan adsorpsi dan tipikal perilaku adsorpsi. Isoterm Freundlich dibuat dalam bentuk persamaan garis linear. Berikut adalah formula matematisnya.

$$\log W = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

Keterangan:

K : konstanta kesetimbangan adsorpsi

C : konsentrasi logam pada kondisi kesetimbangan (mg/L)

Tabel 1 Rancangan percobaan

Mata lele (g/150 mL)	Waktu perendaman (jam)	
	24	48
0.50 g		
1.25 g		
2.50 g		
5.00 g		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Air Sumur Sampel

Terdapat 6 lokasi yang berbeda di Desa Srihardono, Kecamatan Pundong dipilih sebagai lokasi pengambilan sumber sampel air sumur (Tabel 2). Berdasarkan wawancara dengan penduduk yang menggunakan sumber air sumur tersebut, teridentifikasi beberapa keluhan. Keluhan yang umum dijumpai pada beberapa lokasi sumur adalah munculnya kekeruhan dan bau logam yang cukup tajam. Sebelumnya, berdasarkan hasil pertemuan dengan warga setempat pada tanggal 21 Agustus 2022 di Dusun Baran, Desa Srihardono, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta, diketahui sebagian besar sumur warga juga mengalami keluhan yang sama. Hal ini telah terjadi sejak Gempa Yogyakarta tahun 2006 (Septiana, 2017). Sejak peristiwa gempa tersebut, memang telah dilaporkan terjadi kekeruhan air sumur warga. Terdapat beberapa mekanisme pencemaran, antara lain: rembesan dari pecahan tangki septik dan perubahan muka air tanah (Supartoyo, 2006; Sudarmadji, 2006).

Berdasarkan deskripsi keluhan maupun observasi di lapangan, diduga kuat cemaran yang terjadi di lokasi penelitian berasal dari minimal dua kombinasi faktor. Dugaan pertama adalah tingginya kadar logam pada air tanah dangkal yang diakses melalui sumur-sumur warga. Logam-logam yang berpotensi melebihi ambang batas dari baku mutu air tanah tersebut, antara lain: Fe, Mn, dan Zn. Dugaan kedua adalah tingkat kesadahan air yang cukup tinggi. Dengan adanya tingkat kesadahan air ini, akan mempermudah terjadinya penggumpalan dan kerak pada wadah penampungan dan pipa-pipa saluran. Untuk itu, dipilih 3 parameter utama sebagai *baseline* dari kualitas air sumur di Kecamatan Pundong: kadar Fe, Mn, dan kesadahan. Beberapa parameter lainnya juga turut dipertimbangkan untuk melihat kemungkinan faktor lainnya yang turut mencemari, seperti kandungan *coli* tinja. Tabel 3 mencakup informasi hasil pengukuran sampel yang telah dilakukan.

Tabel 2 Identitas Lokasi Pengambilan Sampel Air Sumur

No.	Sampel Sumur	Lokasi	Elevasi (m)	Koordinat	
				Lintang	Bujur
1	Sampel 1	SMKN 1 Pundong, Kab Bantul DIY. RT 2	20	7° 56'50" S	110° 20'36" T
2	Sampel 2	Rumah Warga (Gmaps : Sakamoto), Kab Bantul, DIY. RT 2	20	7° 56'53" S	110° 20'31" T
3	Sampel 3	Rumah Warga, RT 7, Kab Bantul, DIY	20	7° 57'13" S	110° 20'39" T
4	Sampel 4	Rumah Warga, RT 8, Kab Bantul, DIY	20	7° 57'18" S	110° 20'34" T
5	Sampel 5	Rumah Warga, RT 5, Kab Bantul, DIY	20	7° 57'16" S	110° 20'28" T
6	Sampel 6	Rumah Warga, RT 3, Kab Bantul, DIY	20	7° 57'6" S	110° 20'35" T

Tabel 3 Data Pengukuran Awal terhadap Sampel Air Sumur

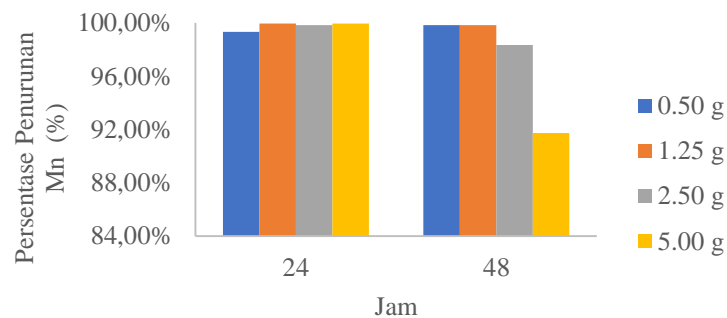
No.	Nama Sampel	pH	Suhu (° C)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Kesadahan CaCO ₃ (mg/L)	Coli Tinja (MPN/100 mL)
1	Sampel 1	6.8	27	0.01	0.14	259	1100
2	Sampel 2	6.6	27	0.11	0.12	290	2400
3	Sampel 3	6.7	27	0.03	1.20	298	2400
4	Sampel 4	6.5	27	0.12	0.01	361	2400
5	Sampel 5	6.5	27	0.05	2.10	352	2400
6	Sampel 6	6.6	27	0.04	0.06	317	2400
	Rerata	6.6	27	0.06	0.61	312.83	2183.33
	Standar Deviasi	0.1	0	0.04	0.86	38.76	530.72

Terdapat 6 parameter yang diukur untuk setiap sampel dengan ulangan tunggal. Berdasarkan hasil pengukuran sampel air sumur tersebut, terdapat 2 parameter yang telah melebihi baku mutu, yakni: kadar Mn dan *coli* tinja. Mengacu pada Permenkes No. 32 tahun 2017, Lampiran II, Bagian A (Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi), kadar minimal untuk Mn dan *coli* tinja berturut-turut sebesar 0.5 mg/L dan 0 CFU/100 mL. Kadar kesadahan CaCO₃ masih dalam batas toleransi, namun ini sudah cukup tinggi. Kesadahan yang tinggi mampu memicu aglomerasi pada saluran pipa sehingga menimbulkan penyumbatan. Namun, dengan tingginya kadar kesadahan pula, toksistas logam berat dapat menurun, sebab logam berat akan cenderung turut terendapkan bersama lapisan CaCO₃ (Kiyani, Hosynzadeh, & Ebrahimpour, 2013; Ha, et al., 2020). Walaupun demikian, peningkatan kadar kesadahan berpotensi memicu gangguan kesehatan bagi manusia yang mengonsumsinya. Gangguan kesehatan yang berpotensi muncul antara lain: gangguan ginjal, penyakit kardiovaskular, dan timbulnya batu ginjal. Walaupun nilai konsentrasi kalsium yang rendah dalam urin, pada jangka panjang ini dapat memicu munculnya batu ginjal maupun gangguan-gangguan lainnya (Sa'adah, Mukono, Sulistyorini, & Setioningrum, 2021). Nilai parameter *coli* tinja yang tinggi juga mengindikasikan terjadinya cemaran berat dari limbah domestik *black water* ke air tanah dangkal. Cemaran ini dapat timbul dari kebocoran tangki septik di sekitar permukiman warga.

Status mutu air warga dievaluasi menggunakan indeks tertentu. Salah satu indeks yang sering digunakan adalah Indeks Pencemaran (IP_j) dan STORET. Indeks pencemaran memiliki keunggulan yakni mempertimbangkan aspek pembobotan pada tiap-tiap parameternya. Sementara itu, STORET memiliki keunggulan kemudahan dalam proses evaluasinya (Aristawidya, Hasan, Iskandar, Yustiawati, & Herawati, 2020). Berdasarkan perhitungan Indeks Pencemaran (IP_j) dan STORET, kedua indeks tersebut menunjukkan status mutu air sumur pada kondisi tercemar dengan tingkat pencemaran menengah (Tabel 4). Komponen parameter kritis yang paling berpengaruh terhadap kualitas air sumur tersebut adalah cemaran *coli* tinja. Parameter lainnya masih sesuai dengan baku mutu, kecuali kadar Mn dalam sampel air. Walaupun demikian, nilai indeks pencemaran pada beberapa menunjukkan nilai yang kritis, seperti pH dan kesadahan, sebab sudah hampir melewati baku mutu. Batasan masalah penelitian ini berkaitan dengan penyerapan (adsorpsi) logam oleh tumbuhan mata lele. Oleh sebab itu, walaupun kadar *coli* tinja menjadi faktor yang paling memengaruhi nilai indeks, parameter *coli* tidak diukur sebagai respons dalam hasil uji laboratorium. Selain itu, angka yang digunakan dalam analisis adalah angka *coli* total (50 MPN/100 mL), sebab angka standar tidak dapat digunakan untuk menghitung nilai IP_j.

Tabel 4 Perhitungan Indeks Pencemaran dan Nilai Skor STORET

No.	Parameter	pH	Suhu (° C)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Kesadahan CaCO ₃ (mg/L)	Coli Tinja (MPN/100 mL)
1	Nilai Maksimum	6.80	27.00	0.12	2.10	361.00	2400.00
2	Nilai Minimum	6.50	27.00	0.01	0.01	259.00	1100.00
3	Nilai Rerata	6.62	27.00	0.06	0.61	312.83	2183.33
4	Skor STORET	0	0	0	-8	0	-15
Skor STORET Total			-23	(Tercemar Sedang)			
1	Nilai C _i	6.62	27.00	0.06	0.61	312.83	2183.33
2	Nilai L _{ij}	7.5	26	1	0.5	500	50
3	Nilai C _i /L _{ij}	0.59	0.33	0.06	1.21	0.63	43.67
4	Nilai C _i /L _{ij} baru	0.59	0.33	0.06	1.41	0.63	9.20
5	Nilai C _i /L _{ij} Maksimum				9.20		
6	Nilai C _i /L _{ij} Rerata				2.04		
Skor IP_j			6.66	(Tercemar Sedang)			



Uji Penjerapan Logam Berat oleh Mata Lele (*Lemna minor*)

Uji penjerapan logam berat oleh mata lele (*Lemna minor*) dilakukan dalam 2 percobaan yang berbeda. Percobaan pertama menggunakan air sumur warga dengan mata lele. Sementara itu, pada

Gambar 1 Persentase Penjerapan Logam Mn pada Sampel Komposit Air Sumur (Percobaan 1)

percobaan kedua menggunakan mata air sumur warga yang telah ditambahkan sejumlah Fe dan Mn dengan konsentrasi tertentu. Terdapat 2 variabel uji, yakni waktu perendaman dan jumlah gram tanaman mata lele (*Lemna minor*). Air sumur warga dicampur dengan perbandingan volume yang sama (dikompositkan)¹ untuk menghomogenkan sampel. Dengan demikian, karakteristik sampel air adalah rerata tipikal sampel pada daerah yang bersangkutan. Oleh sebab itu, konsentrasi awal Fe dan Mn masing-masing menjadi sebesar 0.060 mg/L dan 0.605 mg/L.

Tabel 5 merupakan hasil pengukuran kadar logam Fe dan Mn setelah diberikan perlakuan pada Percobaan 1 dan Percobaan 2.

Hasil pengukuran pada Percobaan 1 menunjukkan tidak terjadi gejala absorpsi pada logam Fe. Pada logam Fe pola adsorpsi maupun desorpsi tidak tergambarkan dengan jelas pada kombinasi

¹ Komposit dilakukan dengan mencampurkan ± 83 mL dari masing-masing sampel. Dengan demikian, didapatkan ± 500 mL air sampel komposit yang digunakan dalam percobaan.

perlakuan apapun, yakni waktu perendaman maupun jumlah massa mata lele sebagai adsorben. Namun, hasil yang signifikan terjadi pada logam Mn. Tingkat adsorpsi logam Mn oleh mata lele (*Lemna minor*) sangat signifikan pada kondisi air komposit. Walaupun terdapat peningkatan logam yang terlepas kembali ke air, namun konsentrasi logam yang terjerap sangat signifikan. Pada semua jenis taraf bobot mata lele, tingkat adsorpsi logam Mn mencapai $91.57 \pm 1.74 \%$.

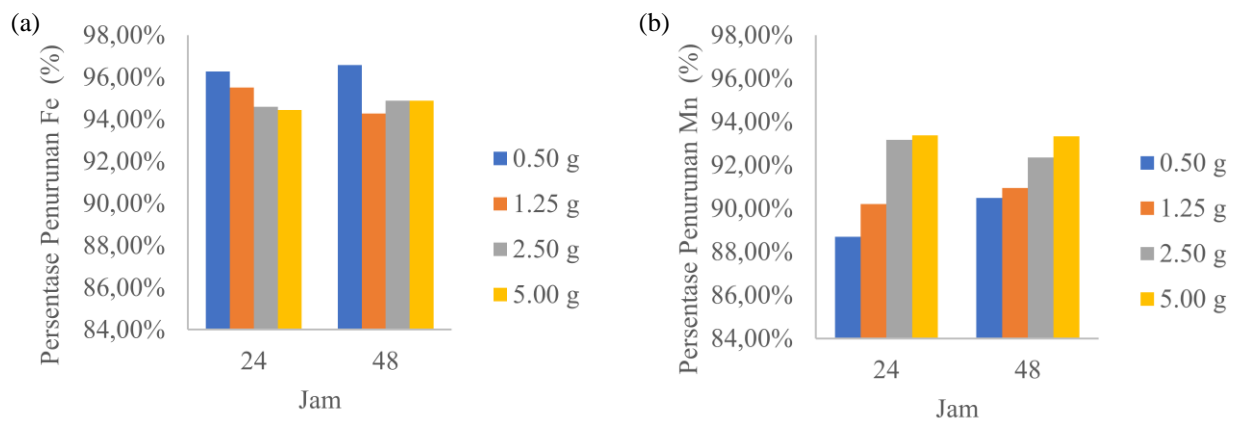
Tabel 5 Kadar Logam pada Air Sumur Komposit setelah Perendaman

No.	Bobot Mata Lele (g)	Waktu Perendaman (jam)	Percobaan 1		Percobaan 2	
			Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
1	0.50	0	0.06	0.6050	100	100
2	0.50	24	0.09	0.0040	3.73	11.3
3	0.50	48	0.06	0.0010	3.43	9.52
4	1.25	0	0.06	0.6050	100	100
5	1.25	24	0.06	0.0003	4.49	9.8
6	1.25	48	0.03	0.0010	5.73	9.06
7	2.50	0	0.06	0.6050	100	100
8	2.50	24	0.08	0.0010	5.41	6.84
9	2.50	48	0.08	0.0100	5.11	7.65
10	5.00	0	0.06	0.6050	100	100
11	5.00	24	0.06	0.0003	5.56	6.62
12	5.00	48	0.06	0.0500	5.11	6.67

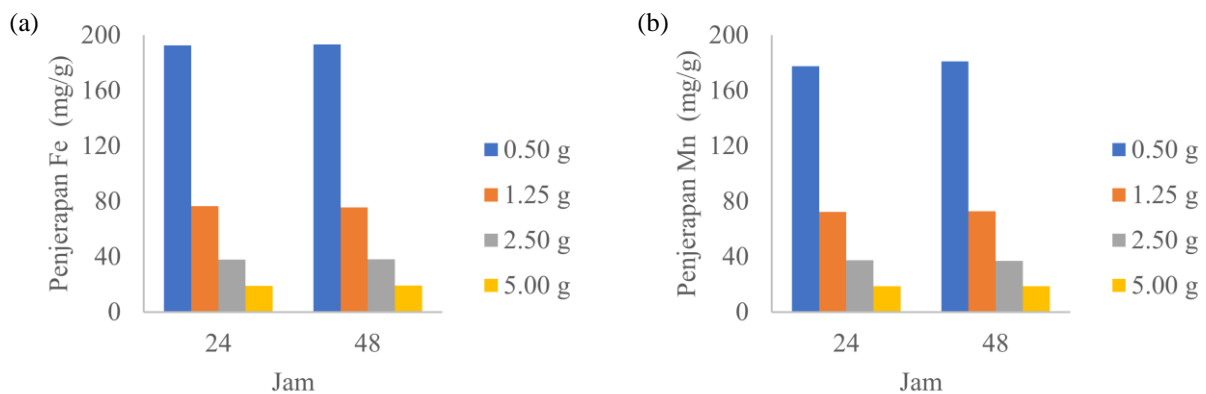
Secara umum, perendaman dalam waktu 24 jam telah mencapai nilai adsorpsi rerata perlakuan. Penambahan waktu perendaman tidak banyak memengaruhi perbedaan konsentrasi logam Mn yang terjerap secara lebih signifikan (Tabel 4, Gambar 1). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada tingkat konsentrasi rendah (1.0-0.5 ppm) mata lele masih secara aktif dapat mengadsorpsi logam Mn. Namun, pada konsentrasi yang lebih rendah (0.1-0.01 ppm) mata lele sudah tidak mampu lagi mengadsorpsi logam Fe. Karena tingkat level konsentrasi Fe dan Mn yang berbeda, tidak dapat disimpulkan apakah logam mata lele ini memiliki preferensi untuk menjerap jenis logam tertentu secara lebih spesifik

Tabel 6 Persentase Adsorpsi Kadar Logam pada Air Sumur Komposit setelah Perendaman

No.	Bobot Mata Lele (g)	Waktu Perendaman (jam)	Percobaan 1		Percobaan 2	
			Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
1	0.50	24	-50.00%	99.34%	96.27%	88.70%
2	0.50	48	0.00%	99.83%	96.57%	90.48%
3	1.25	24	0.00%	99.95%	95.51%	90.20%
4	1.25	48	50.00%	99.83%	94.27%	90.94%
5	2.50	24	-33.33%	99.83%	94.59%	93.16%
6	2.50	48	-33.33%	98.35%	94.89%	92.35%
7	5.00	24	0.00%	99.95%	94.44%	93.38%
8	5.00	48	0.00%	91.74%	94.89%	93.33%

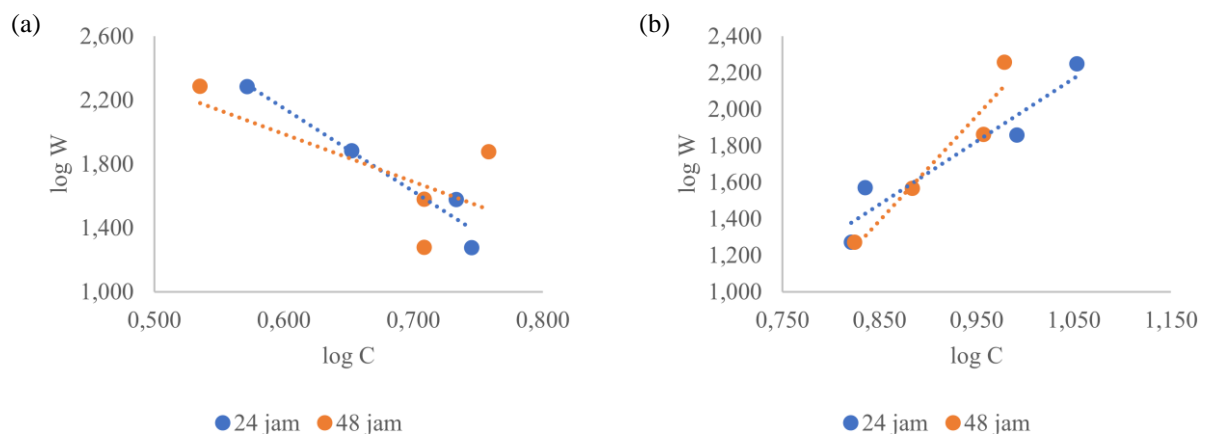


Gambar 2 Persentase penurunan konsentrasi logam pada air sumur komposit pada Percobaan 2: (a) Fe, (b) Mn.



Gambar 4 Efektivitas adsorpsi logam oleh mata lele (mg logam/ g mata lele) pada Percobaan 2: (a) Fe, (b) Mn.

Hal yang berbeda terjadi apabila konsentrasi awal Fe maupun Mn sama, yakni 100 ppm. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, terlihat persentase penjerapan sangat tinggi pada kedua logam (Gambar 3). Persentase penjerapan kedua logam cenderung lebih dari 90%. Logam Fe cenderung lebih mudah dijerap oleh mata lele, ditandai dengan persentase penjerapan yang tinggi. Sebaliknya, logam Mn tidak terlalu mudah dijerap oleh mata lele. Pada perlakuan dengan logam Fe sebagai analit, tidak terlihat hubungan antara waktu perendaman dan jumlah mata lele yang ditambahkan pada air sumur komposit. Sementara itu, terlihat terdapat hubungan positif antara peningkatan bobot mata lele dan juga lamanya



Gambar 5 Model isoterm adsorpsi logam oleh mata lele pada Percobaan 2: (a) Fe, (b) Mn.

waktu perendaman terhadap persentase penjerapan. Pada kasus penjerapan logam Mn, terlihat bahwa persentase penjerapan mulai melandai pada waktu perendaman 48 jam dengan jumlah bobot mata lele mencapai 2.50-5.00 gram untuk 150 mL air sumur komposit dengan 100 ppm Mn.

Apabila bobot logam terjerap dibandingkan dengan bobot mata lele sebagai adsorben, didapatkan hubungan negatif antara bobot mata lele terhadap bobot logam per gram mata lele (Gambar). Hubungan negatif menunjukkan terjadinya penurunan efektivitas penjerapan seiring pertambahan bobot adsorben pada air sumur komposit. Penurunan efektivitas ini dapat disebabkan oleh persaingan masing-masing komponen penjerap untuk mengadsorpsi logam, bila mengikuti ilustrasi model isoterm adsorpsi Langmuir.

Analisis isoterm berfungsi untuk menentukan kinetika adsorpsi serta dapat memprakirakan daya kapasitas adsorpsi maksimum yang dilakukan oleh adsorben. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kinetika adsorpsi dengan metode isoterm Freundlich. Isoterm Freundlich mengasumsikan fase antara adsorbat dan adsorben yang heterogen. Untuk keperluan analisis kinetika adsorpsi, dilakukan hanya pada data sampel yang telah ditambahkan logam Fe dan Mn sampai konsentrasi 100 ppm. Berdasarkan hasil analisis, proses kinetika adsorpsi Fe oleh mata lele tidak dapat ditentukan. Sebab, nilai gradien dari persamaan isoterm Freundlich bernilai negatif. Melalui data hasil adsorpsi juga telah dapat terlihat, bahwasannya tidak terdapat pola keteraturan konsentrasi Fe yang tersisa pasca-perendaman dalam waktu tertentu dengan sejumlah bobot mata lele. Mekanisme reaksi adsorpsi logam Mn oleh tanaman mata lele dapat ditentukan, sebab nilai gradien persamaan isoterm Freundlich bernilai positif (Gambar).

Tabel 7 Tabulasi nilai K dan n pada adsorpsi Mn dengan model isoterm Freundlich

Waktu Perendaman (jam)	Konstanta	
	K	n
24	0.0352	0.2899
48	0.0003	0.1742

Berdasarkan persamaan isoterm Freundlich, terdapat 2 konstanta yang dapat diprakirakan nilainya, yakni nilai K dan nilai n . Nilai K merujuk pada nilai kesetimbangan partisi adsorbat-larutan (miligram logam / gram mata lele). Sementara itu, nilai n mengacu pada nilai faktor koreksi (Fatimah, Fadillah, Yahya, & Setiawan, 2021; Spark, 2003). Nilai K dapat diasumsikan sebagai indikator kapasitas adsorpsi, dan n sebagai intensitas adsorpsi. Semakin besar nilai K maupun n mengindikasikan kapasitas dan intensitas adsorpsi yang cenderung meningkat (Wijayanti, Susatyo, Kurniawan, & Sukarjo, 2018).

Hasil analisis regresi menggunakan model isotherm Freundlich pada logam Fe menghasilkan persamaan garis untuk waktu perendaman 24 dan 48 jam berturut-turut sebagai berikut: $y_{24} = -5.2082x + 5.2739$, $R^2 = 0.948$; dan $y_{48} = -29955x + 3.7849$, $R^2 = 0.463$. Sementara itu, untuk logam Mn dengan waktu perendaman 24 dan 48 jam berturut-turut adalah $y_{24} = 3.4489x - 1.4529$, $R^2 = 0.9067$, dan $y_{48} = 5.74x - 3.489$, $R^2 = 0.9281$. Berdasarkan hasil model tersebut, dapat diketahui bahwa nilai gradien untuk model adsorpsi Fe bernilai negatif. Implikasinya model isoterm Freundlich tidak dapat digunakan untuk mengevaluasi kejadian adsorpsi Fe, analisis hanya akan dilakukan pada kasus penjerapan logam Mn saja. Berdasarkan analisis dari model Freundlich, nilai konstanta K dan n masing-masing sesuai dari Tabel 7 untuk logam Mn pada waktu perendaman 24 dan 48 jam. Berdasarkan nilai K dan n hasil analisis isoterm Freundlich, diketahui bahwa terjadi penurunan potensi kesetimbangan pada hari ke-2. Hal ini ditandai dengan kecilnya nilai K. Mengacu pada pola data hasil percobaan, ini mengindikasikan waktu perendaman selama 48 jam telah maksimal, sehingga tidak ada lagi yang dapat dijerap oleh tanaman mata lele. Ini juga didukung dengan menurunnya nilai n . Nilai n yang kurang dari 1 menunjukkan kurvatur pola data yang menandakan diperlukan sejumlah adsorbat yang lebih besar untuk dapat teradsorpsi oleh mata lele pada rentang konsentrasi yang rendah.

KESIMPULAN

Tanaman mata lele pada konsentrasi Mn dan Fe yang lebih tinggi (100 ppm) mampu menyerap dengan baik kedua logam tersebut. Namun, pada kondisi eksisting Fe dan Mn dari sampel air sumur komposit, hanya logam Mn yang mampu menyerap dengan baik. Dari kedua logam, hanya logam Mn yang dapat dimodelkan sesuai dengan persamaan isoterm Freundlich.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LP2M Institut Teknologi Yogyakarta, yang telah membantu memberikan pendanaan bagi terselenggaranya penelitian ini melalui skema pendanaan penelitian internal Institut Teknologi Yogyakarta tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Appenroth, K.-J., Sree, K. S., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Böhm, V., . . . Jahreis, G. (2018). Nutritional Value of the Duckweed Species of the Genus *Wolffia* (Lemnaceae) as Human Food. *Front. Chem.*, 6, 483. doi:10.3389/fchem.2018.00483
- Aristawidya, M., Hasan, Z., Iskandar, Yustiawati, & Herawati, H. (2020). Status Pencemaran Situ Gunung Putri di Kabupaten Bogor Berdasarkan Metode STORET dan Indeks Pencemaran. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 27(1), 27–38.
- Das, P. K. (2018). Phytoremediation and Nanoremediation : Emerging Techniques for Treatment of Acid Mine Drainage Water. *Defence Life Science Journal*, 3(2), 190-196. doi:10.14429/dlsj.3.11346
- Fatimah, I., Fadillah, G., Yahya, A., & Setiawan, A. (2021). *Adsorpsi dalam Teknologi Pengelolaan Lingkungan*. Yogyakarta: UII Press.
- Ha, H., Hong, C., Hong, J., Jho, E., Hwang, H., Lim, J., . . . Lee, S. (2020, April). Effects of water hardness on the toxicity of heavy metals to *Daphnia magna*. *Desalination and Water Treatment*, 184, 80-85. doi:10.5004/dwt.2020.25254
- Imron, M. F., Kurniawan, S. B., Soegianto, A., & Wahyudianto, F. E. (2019). Phytoremediation of methylene blue using duckweed (*Lemna minor*). *Heliyon*, 5(8), e02206. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02206
- Januar, S. E., Annas, W. Y., Rahmawati, S., Irwanto, I., & Ghozali, A. A. (2013). *Analisis Potensi dan Kondisi Optimum Tanaman Mata Lele (Lemna sp.) sebagai Adsorben Logam Berat Cr dan Pb*. Institut Pertanian Bogor, Departemen Kimia. Bogor: Institut Pertanian Bogor. Dipetik November 10, 2022, dari <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/74004>
- Kaur, L., & Kanwar, N. (2022). Duckweed: a model for phytoremediation technology. *The Holistic Approach to Environment*, 12(1), 39-58. doi:10.33765/thate.12.1.4
- Kiyani, V., Hosynzadeh, M., & Ebrahimpour, M. (2013). Investigation acute toxicity some of heavy metals at different water. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(2), 134-142.
- Kurniawan, J. I., & Aunurohim. (2014). Biosorpsi Logam Zn²⁺ dan Pb²⁺ Oleh Mikroalga. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 3(1), E1-E6.
- Li, S., Zheng, F.-Y., Huang, Y., & Ni, J.-C. (2011). Through Removal of Inorganic and Organic Mercury from Aqueous Solutions by Adsorption on *Lemna Minor* Powder. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 423-429. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.11.009
- Sa'adah, U. L., Mukono, J., Sulistyorini, L., & Setioningrum, R. K. (2021, Desember). Kesadahan Air Minum dengan Kadar Kalsium Urin dan Keluhan Kesehatan pada Masyarakat Samaran Barat, Desa Samaran, Sampang. *Media Gizi Kesmas*, 10(2), 246-253.
- Septiana, M. D. (2017). *KAJIAN HIDROGEOKIMIA AIRTANAH UNTUK KEBUTUHAN AIR DOMESTIK PADA BERBAGAI BENTUKLAHAN DI KECAMATAN PUNDONG, KABUPATEN BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA*. UPN "Veteran" Yogyakarta, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Yogyakarta.
- Spark, D. L. (2003). *Environmental Soil Chemistry* (Vol. 2). San Diego, California, USA: Elsevier.

- Sudarmadji. (2006). Perubahan Kualitas Air Tanah di Sekitar Sumber Pencemar Akibat Bencana Gempa Bumi. *Forum Geografi*, 20(2), 99-119.
- Sumiahadi, A., & Acar, R. (2018). A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 142, hal. 012023. doi:10.1088/1755-1315/142/1/012023
- Supartoyo. (2006). Gempa Bumi Yogyakarta Tanggal 27 Mei 2006. *Buletin Berkala Merapi*, 3(2), 36-55.
- Vasavi, A., Usha, R., & Swamy, P. M. (2010). Phytoremediation - An Overview Review. *Journal of Industrial Pollution Control*, 83-88.
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Kurniawan, C., & Sukarjo. (2018). Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242-248.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Sciences*, 11, 359. doi:10.3389/fpls.2020.00359
- Yang, J., Hu, S., Li, G., Khan, S., Kumar, S., Yao, L., . . . Hou, H. (2020). Transformation Development in Duckweeds. Dalam X. Cao, P. Fourounjian, & W. Wang, *The Duckweeds Genomes* (hal. 143-155). Springer. doi:10.1007/978-3-030-11045-1_15