



Perbedaan Efisiensi Massa Tanaman Azolla Microphylla Terhadap Penurunan Logam Berat Cr6+ dengan Sistem Batch

Nilia Fariha^{1*}, Dedy Suprayogi², dan Amrullah³

1 Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Gn.Anyar, Surabaya, 60294.

2 Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Gn. Anyar, Surabaya, 60294.

3 Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Gn. Anyar, Surabaya, 60294.

Corresponding Author: dsuprayogi@uinsby.ac.id

Article Info:

Received: 02-03-2023

Accepted: 30-09-2023

Kata kunci: Efisiensi massa, Azolla microphylla, Cr6+, sistem Batch

Keywords: Mass efficiency, Azolla microphylla, Cr6+, Batch system

Abstrak: Azolla merupakan tanaman air yang biasa hidup di sawah, sungai, kolam-kolam maupun tempat tergenang lainnya, salahsatu spesies dari tanaman Azolla yaitu Azolla microphylla yang memiliki manfaat dapat menyerap logam berat termasuk Cr6+. Krom Heksavalen ini dapat menjadi sumber pencemar jika kadar nya melebihi baku mutu pada perairan. Proses penyerapan logam Cr6+ dilakukan dengan cara fitoremediasi menggunakan sistem batch. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan efisiensi massa tanaman Azolla microphylla dalam menurunkan kadar Cr6+. Penelitian dilakukan di laboratorium UIN Sunan Ampel Gunung Anyar, Surabaya, dilakukan selama 15 hari pada bulan Mei 2023 dengan metode deskriptif eksperimental laboratorium. Limbah yang digunakan adalah limbah artifisial dengan konsentrasi Cr6+ sebesar 9,91 mg/l. Variasi massa tanaman Azolla microphylla yang digunakan 100 gram pada reaktor X1, 200 gram pada reaktor X2, 300 gram pada reaktor X3, dengan variasi waktu paparan 0,2,4,6, dan 8 hari. Hasil penelitian sdengan massa tanaman 200 gram merupakan efisiensi penurunan tertinggi pada hari ke-6 sebesar 87,29% dengan hasil penurunan sampai konsentrasi 1,26 mg/l. Perbedaan efisiensi massa tanaman di uji statistik non parametrik kruskal wallis dengan hasil 0,705 yaitu Asymp.sig > 0,05 dan disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan nyata variasi berat basah tanaman dalam menurunkan kadar Cr6+.

Abstract: Azolla is an aquatic plant that usually lives in rice fields, rivers, ponds, and other stagnant places; a species of Azolla plant, namely Azolla microphylla, has the benefit of being able to absorb heavy metals, including Cr6+. Hexavalent Chromium can be a source of pollutants if the levels exceed water quality standards. The process of absorption of Cr6+ metal was carried out through phytoremediation using a batch system. This study aims to determine differences in the mass efficiency of Azolla microphylla plants in reducing Cr6+ levels. The research was conducted in the UIN Sunan Ampel Gunung Anyar laboratory, Surabaya, for 15 days in May 2023 using a laboratory experimental, descriptive method. The waste used is artificial waste with a Cr6+ concentration of 9.91 mg/l. Variations in the mass of Azolla microphylla plants used were 100 grams in reactor X1, 200 grams in reactor X2, and 300 grams in reactor X3, with variations in exposure times of 0, 2, 4, 6, and 8 days. The study's results with a plant mass of 200 grams were the highest reduction efficiency on the 6th day of 87.29% with a decrease to a concentration of 1.26 mg/l. The difference in plant mass efficiency in the Kruskal Wallis non-parametric statistical test with a result of 0.705, namely Asymp. Sig> 0.05 concluded that there was no significant difference in plant wet weight variations in reducing Cr6+ levels.

1. Pendahuluan

Pencemaran air terjadi di berbagai negara termasuk Indonesia. Pencemaran air permukaan maupun air tanah yang terkandung logam berat didalamnya, berpotensi menjadi racun bagi sebagian besar organisme hidup pada tingkat paparan yang tinggi. Logam berat di lingkungan dapat mempengaruhi kehidupan akuatik dan mengubah keanekaragaman tumbuhan. Salah satu logam berat yang banyak mencemari lingkungan perairan adalah kromium yang bersumber dari industri penyamakan kulit (Sadeghi et al., 2022). Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia pada tahun 2022, Industri kulit pada triwulan II naik sebesar 13,12% dan mengalami kenaikan sebesar 84,49% pada bulan Juli 2022. Kasus pencemaran kromium di perairan Indonesia salah satunya terdapat pada hulu sungai citarum, dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu pada stasiun A3 sebesar 0,075 mg/l dan 0,093 pada stasiun A4 (Sumantri & Rahmani, 2020). Menurut WHO batas maksimum kromium VI yang diperbolehkan untuk dibuang ke daratan dan air minum ialah 0,1 mg/l dan 0,05 mg/l.

Salah satu alternatif atau cara untuk mengatasi pencemaran lingkungan adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi dapat menggunakan tanaman, pohon, rerumputan, dan tanaman air untuk menghilangkan atau menurunkan polutan berbahaya dari lingkungan termasuk zat organik maupun zat anorganik. Kemampuan tumbuhan untuk meningkatkan aktivitas biodegradasi oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengan akar (phytostimulation) dan melumpuhkan polutan dalam tanah oleh eksudat dari akar (phytostabilization) merupakan dasar dari fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan pencemaran lingkungan dengan menggunakan tanaman yang sedang dikembangkan saat ini (Wuran dkk, 2018). Keunggulan dari teknik fitoremediasi dibandingkan dengan metode lain karena biaya yang rendah, pengoperasian dan pemeliharaan lebih sederhana, lebih efektif dalam menghilangkan zat pencemar seperti logam berat dan bahan organik. Teknik fitoremediasi dapat ditunjang dengan adanya perbaikan menggunakan media tumbuh dan ketersediaan mikroba untuk meningkatkan efisiensi dalam proses degradasi polutan yang dialirkan ke seluruh bagian tumbuhan, sehingga air menjadi bersih dari polutan (Musapana, 2020; Prasetyo dkk, 2022).

Azolla merupakan tumbuhan yang secara global tersebar di perairan, Azolla dapat ditemukan pada persawahan, danau, kolam, maupun tempat tergenang lainnya. Tanaman ini mampu toleran terhadap berbagai kondisi lingkungan (Tampubolon, 2017; Prasetyo dkk, 2022). Azolla microphylla diketahui dapat mengakumulasi logam karena akar tanaman kontak langsung dengan air yang terkontaminasi pencemar, dan mampu memproduksi biomassa lebih tinggi. Azolla microphylla merupakan jenis tanaman air yang mengapung dan mampu menyerap logam berat melalui akar yang langsung menyerap unsur hara di suatu perairan (Asih & Rachmadiarti, 2019). Azolla microphylla dengan variasi massa tanaman 150gram mampu menurunkan kadar Cr-Total dengan efisiensi penurunan sebesar 90,58%, dengan kandungan Cr-Total awal sebesar 43,87 mg/l menjadi 4,13 mg/l (Pratiwi dkk, 2019).

Kajian Pustaka

Tanaman Azolla Microphylla

Azolla microphylla ialah tanaman yang berada dalam genus Azollaceae yang mempunyai berbagai manfaat dalam bidang peternakan dan pertanian. Azolla banyak dimanfaatkan sebagai pakan ikan, pakan unggas dan pupuk, karena tingginya kandungan protein pada tanaman Azolla. Fisik dari Azolla yang sehat bercirikan memiliki warna daun hijau segar, dan daun tebal, dikarenakan memiliki kandungan unsur hara berlebih yang berpengaruh terhadap warna daun hijau tua, dan daun akan berwarna kuning dengan pinggiran daun pucat berwarna putih, serta daun yang tipis jika kekurangan unsur hara (Effendi & Ilhahi, 2019).

Karakteristik dari tanaman Azolla yaitu bersimbiosis dengan ganggang hijau biru, Anabaena azollae, terdiri dari batang utama yang tumbuh di permukaan air, dengan daun berseling dan akar adventif secara teratur di sepanjang batang. Batang sekunder tumbuh di ketiak daun tertentu. Daun Azolla berbentuk segitiga atau poligonal dan mengapung di permukaan air secara individu atau dalam tinar. Azolla memiliki banyak asam amino, protein, vitamin (A, B-12, beta karoten) dan garam mineral seperti kalsium, fosfor, besi, kalium, tembaga, magnesium, dll. Azolla memiliki 40-60 persen protein berat kering, 10 -15 persen mineral dan 7-10 persen asam amino dll (R, Mohan Kumar., et al 2020). Klasifikasi tanaman Azolla microphylla, sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Tracheophyta

Kelas : Polypodiopsida

Ordo : Salviniiales

Famili : Azollaceae

Genus : Azolla

Spesies: *Azolla microphylla* (Christy, 2017).

Pertumbuhan optimum *Azolla microphylla* pada temperatur 25oC, dan rata-rata *Azolla microphylla* dapat tumbuh dengan baik pada temperatur 15-30 oC. Pada temperatur dibawah 10 oC pertumbuhan *Azolla* menjadi kurang baik. *Azolla microphylla* membutuhkan sinar matahari untuk proses nitrogenase dan fotosintesis, jika tanaman kurang mendapatkan cahaya matahari maka kurang baik pertumbuhannya, dan jika mendapatkan sinar matahari yang terlalu kuat akan menyebabkan *Azolla microphylla* menjadi berwarna merah dan merah kecoklatan (Effendi & Ilhahi, 2019). Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh *Azolla microphylla* dapat dibagi menjadi tiga proses berkesinambungan, seperti berikut:

1. Penyerapan oleh akar. Tergantung pada spesies tanamannya, ada banyak teknik untuk menyerap logam ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) sehingga tanaman dapat menyerapnya. Zat hidrofobik diserap oleh permukaan akar sedangkan zat yang larut dalam air sering diserap oleh akar dengan air (Goang, M.A., 2018).
2. Perpindahan logam dari akar tumbuhan ke bagian lain tumbuhan. Mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan transportasi (xilem dan floem) ke bagian tanaman lain, logam atau zat asing lainnya mengikuti aliran transpirasi setelah menembus endodermis akar (Goang, M.A., 2018).
3. Lokalisasi logam dalam jaringan dan sel. Dengan demikian, logam dicegah menghambat metabolisme tanaman. Tumbuhan memiliki mekanisme pertahanan untuk menghentikan keracunan logam pada sel (Goang, M.A., 2018).

Logam Berat Krom (Cr)

Kromium adalah logam transisi yang menunjukkan sifat kimia yang kompleks. Di dalam air, kromium ada dengan tingkat oksidasi mulai dari +6 hingga -2. Bentuk yang paling stabil adalah Cr(VI) heksavalen dan Cr(III) trivalen dan dapat saling berkonversi. Tergantung pada nilai pH larutan, kromium dapat dijumpai terutama sebagai Cr(III) atau Cr(VI). Di alam, oksidasi Cr (III) tidak disukai karena nilai Eo pasangan redoks Cr (III)/Cr (VI) yang tinggi, hanya oksida mangan yang merupakan oksidan yang efektif di lingkungan. Cr (VI) dapat dengan mudah direduksi menjadi Cr (III) dengan agen pereduksi yang berbeda termasuk Fe (II), fosfat, sulfida, dan bahan organik, misalnya asam humat tergantung pada dosis, tingkat paparan, dan durasi. Paparan kromium yang bertahan lama dan terus menerus bahkan pada konsentrasi rendah, yaitu dalam kasus paparan pekerjaan, dapat merusak kulit, mata, darah, pernapasan, dan sistem kekebalan tubuh. Pada tingkat sel, efek genotoksik kromium menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, dan bahaya lain yang dapat menyebabkan perkembangan tumor (Tumolo et al., 2020).

Keracunan akut dari logam kromium (Cr) dapat mengakibatkan muntah, diare berdarah, masalah sistem pencernaan, nekrosis hati, nekrosis ginjal, dan keracunan. Sementara itu, keracunan yang berkepanjangan juga dapat mengakibatkan ruam kulit, hati, sistem saraf, bahkan kanker paru-paru (Nurkhasanah, 2015; Billah dkk, 2020). Logam kromium juga mempengaruhi kualitas perairan dan mengganggu kehidupan perairan yang dapat menyebabkan organisme mati (Setiyono, Andik & Gustaman, 2017). Untuk mencegah pencemaran logam kromium yang berdampak negatif terhadap lingkungan, maka diperlukan pendekatan fitoremediasi yang lebih murah, tidak memerlukan peralatan khusus, dan mudah diimplementasikan karena ketersediaan sumber daya tanaman yang melimpah (Billah dkk, 2020).

Pencemaran lingkungan Cr (VI) semakin mendapat perhatian karena tersebar luas di seluruh dunia dengan kadar tinggi di air dan tanah karena aktivitas alami dan antropogenik, termasuk pekerjaan pertambangan dan logam, produksi baja dan paduan logam, pembuatan cat, pemrosesan kayu dan kertas, pewarnaan, dan peningkatan kandungan kromium dalam air limbah. Selain itu, jatuhnya abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara atau limbah kota untuk pembangkit energi dan produksi pupuk generasi kedua berkontribusi terhadap peningkatan kandungan Cr (VI) dalam tanah dan air. Batas pembuangan kromium dalam air diatur pada skala nasional dan seringkali bervariasi tergantung pada jenis industri yang berbeda atau badan air penerima (air laut, danau, sungai, sistem saluran pembuangan). Di Eropa, nilai konsentrasi Cr(VI) yang dapat diterima sebagai mg L⁻¹ berkisar antara 0,05 hingga 2 menurut kebijakan lingkungan Norwegia dan Polandia (nilai paling hati-hati) dan Belanda (Tumolo et al., 2020).

Fitoremediasi

Penggunaan tanaman untuk menghilangkan kontaminan dari tanah atau air yang terkontaminasi dikenal sebagai fitoremediasi. Baru-baru ini, teknik fitoremediasi untuk reklamasi telah berkembang pesat karena terbukti lebih murah daripada prosedur alternatif, seperti tanah lapisan atas. Semak, tumbuhan, dan bahkan pohon dapat berfungsi sebagai fitoremediator. Meskipun setiap

tanaman memiliki kapasitas yang berbeda dalam menyerap logam, beberapa tanaman mampu mengakumulasi unsur logam tertentu pada konsentrasi yang agak tinggi (Juhaeti et al., 2005; Muthoharoh, 2018). Fitoekstraksi, fitodegradasi (fitotransformasi), fitovolatilisasi, fitostabilisasi, dan fitofiltrasi (rhizofiltrasi) adalah beberapa teknik/strategi yang digunakan dalam fitoremediasi. Metode fitoremediasi yang paling populer adalah phytoextraction. Oleh karena itu, meskipun fitoremediasi adalah sebuah konsep dan fitoremediasi adalah teknik pembersihan khusus, istilah fitoremediasi dan fitoekstraksi sering digunakan secara bergantian (Muthoharoh, 2018).

Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi memiliki tingkat toleransi kontaminasi yang tinggi. Sifat tanaman hiperakumulator berikut berlaku: a) ketahanan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi di jaringan akar dan tajuk; b) kemampuan mengakumulasi unsur logam dari akar ke kanopi dengan kecepatan tinggi; c) tingkat penyerapan unsur tanah yang tinggi dibandingkan tanaman lain; dan d) idealnya, potensi produksi biomassa tinggi (Hidayati, 2005; Hibatullah, 2019). Penggunaan fitoremediasi sebagai proses pemulihan memiliki beberapa keuntungan, antara lain ekonomis, mudah digunakan, dan mengandung estetika. Adapun kekurangan prosesnya, fitoremediasi memakan banyak waktu dan sangat tergantung pada iklim, kedalaman akar, dan toleransi tanaman terhadap racun (Sidaruk, Lamria & Sipayung, 2015)

Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui efisiensi massa tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat Cr6+

2. Metode Penelitian

Metode deskriptif eksperimental laboratorium yang diaplikasikan dalam penelitian ini memberikan pendekatan sistematis untuk memahami efisiensi tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam Cr6+. Proses penelitian yang dilakukan sepanjang periode Februari hingga Juli 2023 mencerminkan upaya serius dalam memahami potensi fitoremediasi tanaman tersebut terhadap pencemaran logam berat.

Limbah artifisial yang dihasilkan dengan konsentrasi Cr6+ sebesar 9,91 mg/l dirancang dengan presisi di laboratorium UIN Sunan Ampel Gunung Anyar, Surabaya. Proses ini memastikan kualitas dan konsentrasi limbah yang konsisten untuk keperluan pengujian. Selanjutnya, laboratorium lingkungan PT. Axo Green Laboratory di Surabaya memiliki peran penting dalam menguji sampel air limbah untuk memastikan bahwa konsentrasi Cr6+ tetap sesuai dengan standar yang ditentukan.

Pentingnya aklimatisasi tanaman *Azolla microphylla* sebelum proses fitoremediasi menunjukkan betapa esensialnya persiapan tanaman dalam menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Proses ini melibatkan penggunaan Air PDAM selama 7 hari dan pembersihan akar tanaman dengan air mengalir, memastikan kondisi optimal untuk proses fitoremediasi selanjutnya. Menggunakan 7 reaktor dengan variasi berat tanaman memungkinkan peneliti untuk membandingkan dan menilai efektivitas fitoremediasi dalam skala yang berbeda.

Pengamatan lingkungan seperti suhu air limbah, pH air limbah, kelembaban ruangan, dan pencahayaan ruangan menjadi faktor penting dalam memastikan kondisi ideal untuk pertumbuhan dan efisiensi tanaman dalam mengurangi konsentrasi logam Cr6+. Dengan memahami variabel independen, yaitu jumlah tanaman *Azolla microphylla*, dan variabel dependen, yaitu konsentrasi logam Cr6+, penelitian ini menghasilkan data yang dapat dipercaya dan relevan. Penggunaan uji statistik non-parametrik Kruskal Wallis memvalidasi hasil pengujian, memberikan kejelasan ilmiah dalam mengevaluasi efisiensi fitoremediasi yang dilakukan oleh tanaman *Azolla microphylla*.

3. Hasil dan Pembahasan

Parameter (pH, Suhu, Kelembaban, dan Pencahayaan)

A. pH dan Suhu Air Limbah

Pada tahap aklimatisasi, pH air limbah berkisar antara 6,33 – 6,51. Pada saat perlakuan fitoremediasi, pH pada air limbah rata-rata berkisar antara 6,11 – 6,81. Kemudian suhu air limbah pada tahap aklimatisasi berkisar antara 22,8°C – 26,5°C, dan suhu air limbah pada saat fitoremediasi berkisar antara 24,4 °C – 27,3 °C. Hasil pengukuran pH dan suhu air limbah pada saat fitoremediasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil pengukuran pH dan Suhu Air Limbah Tahap Fitoremediasi

Hari ke-	Hasil Pengukuran					
	pH			Suhu (°C)		
	Reaktor X ₁	Reaktor X ₂	Reaktor X ₃	Reaktor X ₁	Reaktor X ₂	Reaktor X ₃
0	6,14	6,11	6,14	24,7	24,6	24,6

Hari ke-	Hasil Pengukuran					
	pH			Suhu (°C)		
	Reaktor X ₁	Reaktor X ₂	Reaktor X ₃	Reaktor X ₁	Reaktor X ₂	Reaktor X ₃
1	6,13	6,13	6,14	24,4	24,4	24,7
2	6,25	6,40	6,35	24,5	24,6	24,6
3	6,44	6,54	6,50	26,1	26,1	26,2
4	6,47	6,62	6,59	24,8	24,9	25
5	6,52	6,67	6,70	24,7	24,5	24,8
6	6,76	6,51	6,71	25,8	25,6	25,8
7	6,56	6,78	6,77	27,1	27,2	27,3
8	6,81	6,58	6,76	25,4	25,4	25,2

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Pengetahuan tentang efek fotosintesis pada pH air limbah memberikan pemahaman yang mendalam tentang mekanisme di balik fitoremediasi menggunakan tanaman seperti Azolla. Saat tumbuhan melakukan fotosintesis, mereka mengonsumsi CO₂ dari air limbah, yang pada gilirannya mengurangi kadar CO₂ dalam larutan. Seperti yang dijelaskan oleh Nurmalita (2018), pengurangan CO₂ ini dapat menyebabkan peningkatan pH karena CO₂ berperan dalam proses pengasaman. Dalam konteks ini, proses fotosintesis tidak hanya memberikan manfaat bagi tanaman sendiri tetapi juga menghasilkan perubahan kimia dalam air limbah yang mendukung pengendapan logam berat.

Konsep ini mendapatkan tambahan dukungan dari penelitian oleh Kurniati et al. (2020), yang menunjukkan bagaimana CO₂ yang terlarut dalam air dapat berkontribusi pada penurunan nilai pH melalui pembentukan dan disosiasi asam karbonat (H₂CO₃). Namun, penting untuk dicatat bahwa, meskipun Azolla dapat bertahan pada rentang pH yang luas, pertumbuhannya paling optimal terjadi dalam kisaran pH tertentu, yaitu antara 4,5 hingga 7, sesuai dengan penelitian oleh R, Mohan Kumar et al. (2020). Ini menekankan pentingnya mempertahankan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan optimal tanaman dalam upaya fitoremediasi.

Selain itu, peran suhu sebagai faktor yang mempengaruhi metabolisme dan fotosintesis Azolla tidak dapat diabaikan. Seperti yang dijelaskan oleh Billah dkk (2020), meskipun suhu yang lebih tinggi mungkin meningkatkan laju penyerapan oleh tanaman, kenaikan suhu yang signifikan dapat berpotensi menghambat pertumbuhan dengan menunjukkan gejala seperti pemendekan akar. Oleh karena itu, memastikan suhu lingkungan tetap dalam kisaran yang ideal, yaitu antara 64 dan 82°F (18-28°C) sesuai dengan R, Mohan Kumar et al. (2020), akan mendukung efisiensi proses fitoremediasi dan kesejahteraan tanaman.

Secara keseluruhan, memahami interaksi antara fotosintesis, pH, dan suhu dalam konteks fitoremediasi adalah kunci untuk mengoptimalkan proses ini dan memastikan bahwa kondisi lingkungan yang paling sesuai diberikan kepada tanaman untuk efisiensi maksimal.

B. Kelembaban dan Pencahayaan Ruang

Pada tahap aklimatisasi, kelembaban ruangan berkisar antara 59,5% - 80,5%. Pada saat perlakuan fitoremediasi, kelembaban ruangan rata-rata berkisar antara 64,08% - 86,25%. Kemudian pencahayaan pada tahap aklimatisasi berkisar antara 2137 lux – 2808 lux, dan pencahayaan ruangan pada saat fitoremediasi berkisar antara 2114 lux – 2395 lux. Hasil pengukuran kelembaban dan pencahayaan ruangan pada saat fitoremediasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kelembaban dan Pencahayaan Tahap Fitoremediasi

Hari ke-	Hasil Pengukuran	
	Kelembaban (%)	Pencahayaan (lux)
0	81,57	2151
1	86,25	2292
2	68,48	2241
3	67,20	2395
4	71,30	2238
5	64,08	2114
6	77,25	2182
7	85,28	2340
8	74,25	2352

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Kelembaban tinggi ketika ada banyak air di udara. Uap air inilah yang menyebabkan udara mengandung air dalam jumlah yang begitu besar. Suhu mempengaruhi jumlah uap air. Lebih sedikit uap air yang dibutuhkan untuk menjenuhkan udara saat suhu rendah. Karena perbedaan tekanan, arah angin berdampak pada suhu ruangan. Udara dingin yang mengembang pada siang hari dan menyusut pada malam hari menyebabkan udara yang lebih ringan naik dan digantikan oleh udara yang lebih dingin (K. P Sari, 2021). Kelembaban yang tinggi mempengaruhi perkembangan dan transpirasi tanaman *Azolla*, tetapi juga dapat menyebabkan peningkatan jamur, yang dapat berbahaya bagi pertumbuhan *Azolla* (Da Silva *et al.*, 2022).

Azolla microphylla pada tempat yang tidak terkena sinar matahari akan mengakibatkan pertumbuhan yang buruk. Sinar yang terlalu kuat untuk terkena sinar matahari juga kurang baik untuk tanaman *Azolla microphylla*. *Azolla microphylla* berubah menjadi merah dan merah kecoklatan atau mati (Effendi & Ilhahi, 2019). Kualitas pencahayaan alami yang tidak dapat dipisahkan dari distribusi cahaya yang masuk melalui jendela menentukan seberapa banyak dan seberapa sedikit cahaya yang tersedia dalam suatu ruangan (Vidiyanti dkk, 2020). Cahaya alami tidak dapat diprediksi karena dapat berubah dengan waktu tahun, musim, dan cuaca. Matahari memiliki intensitas cahaya tertinggi dari semua sumber cahaya alami, sehingga keberadaannya sangat bermanfaat untuk menerangi ruang dalam ruangan (Ragilyani & Dewi, 2021).

C. Efisiensi Removal Kadar Logam Cr^{6+}

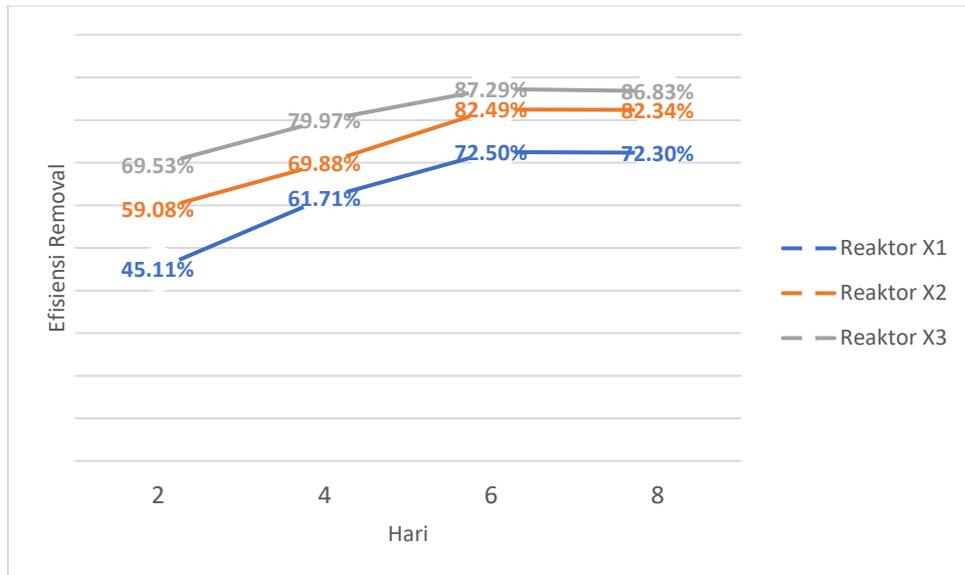
Penurunan konsentrasi logam berat Cr^{6+} menggunakan variasi massa tanaman pada reaktor X_1 (100gram tanaman), X_2 (150gram tanaman), dan X_3 (200gram tanaman). Efisiensi removal tertinggi terdapat pada reaktor X_3 pada hari ke-6 perlakuan dengan hasil perhitungan efisiensi removal sebesar 87,29%. Penelitian serupa yang dilakukan oleh pratiwi, 2019 dengan fitoremediasi menggunakan tanaman *Azolla microphylla* mampu menyisihkan logam berat Cr-Total sebesar 90,58% dengan variasi massa 150 gram. Hasil perhitungan efisiensi removal dapat diketahui melalui tabel berikut:

Tabel 3. Efisiensi Removal Logam Berat Krom Heksavalen Cr^{6+}

Hari ke-		Reaktor X_1	Reaktor X_2	Reaktor X_3
0		9,91 mg/l	9,91 mg/l	9,91 mg/l
2	Nilai Penurunan	5,44 mg/l	4,06 mg/l	3,02 mg/l
	Efisiensi Removal	45,11%	59,08%	69,53%
4	Nilai Penurunan	3,80 mg/l	2,99 mg/l	1,99 mg/l
	Efisiensi Removal	61,71%	69,88%	79,97%
6	Nilai Penurunan	2,73 mg/l	1,74 mg/l	1,26 mg/l
	Efisiensi Removal	72,50%	82,49%	87,29%
8	Nilai Penurunan	2,75 mg/l	1,75 mg/l	1,31 mg/l
	Efisiensi Removal	72,30%	82,34%	86,83%

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Berdasarkan pada tabel diatas, didapatkan hasil removal logam berat Cr^{6+} tertinggi terdapat pada hari ke-6 perlakuan dengan variasi massa 200 gram tanaman, dari konsentrasi awal kadungan Cr^{6+} sebesar 9,91 mg/l menjadi 1,26 mg/l. Hasil tersebut masih belum memenuhi baku mutu Cr^{6+} yang diizinkan dibuang ke lingkungan menurut PP No 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup lampiran VI baku mutu air sungai dan sejenisnya kelas I, yaitu kadungan Cr^{6+} sebesar 0,05 mg/l.



Gambar 1. Grafik Efisiensi Removal Logam Berat Cr⁶⁺
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pada grafik diatas, diketahui kadar Cr⁶⁺ pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-6 mengalami penurunan, dan pada hari ke-8 kadar Cr⁶⁺ mengalami kenaikan, proses biologis yang bergantung pada aktivitas metabolisme tanaman air selama fitoremediasi dapat mengakibatkan variasi penurunan dan peningkatan penyisihan logam Cr⁶⁺. Karena tumbuhan air mampu menyerap baik bahan organik maupun logam, proses metabolisme yang mengikuti dari penyerapan logam berat oleh *Azolla microphylla* menyebabkan konsentrasi logam berat dalam air limbah meningkat. Hilangnya kandungan logam berat pada media tidak sepenuhnya terserap oleh tanaman, namun logam berat yang telah masuk ke dalam tubuh tanaman akan dikeluarkan dengan cara membuang daun-daun tua sehingga selanjutnya kadar logam dapat dikurangi (Muhammad, 2015).

Titik jenuh tanaman *Azolla microphylla* menyebabkan akar rontok dan tenggelam ke dasar reaktor, tempat mereka terus mengakumulasi logam berat. Karena akar merupakan organ yang pertama kali bersentuhan dengan media yang mengandung logam, maka akumulasi logam di sana lebih tinggi dan merusak akar (Nilamsari & Rachmadiarti, 2019). Menurut penelitian Sari, Eka Meilian dkk 2017 Pada penelitian hari ke-15 terjadi penurunan persen efisiensi penyerapan karena tanaman telah mencapai kejenuhan dan tidak mampu menyerap kembali logam-logam (Pb, Cd, dan Cr), jumlah maksimum logam berat yang dapat diserap tanaman akan menyebabkan penurunan penyerapan logam berat serta peningkatan konsentrasi logam berat dalam larutan yang dalam. Hal ini karena tumbuhan memiliki kemampuan untuk melepaskan kembali logam berat yang telah diserapnya (E. M. Sari, 2017).

Pada reaktor kontrol (tanpa tanaman) Cr⁶⁺ pada hari ke-0 sebesar 9,91 mg/l dan pada hari ke-8 penelitian kandungan Cr⁶⁺ sebesar 9,2 mg/l, kadar logam Cr⁶⁺ mengalami penurunan sebesar 0,71 mg/l dengan efisiensi removal sebesar 7,16 %. Hal ini dikarenakan keberhasilan fitoremediasi sangat ditentukan oleh jumlah biomassa dan konsentrasi logam berat pada bagian tanaman (Gupta et al., 2013).

D. Analisis Perbedaan Massa Tanaman *Azolla microphylla* dalam Menurunkan Kadar Cr⁶⁺

Tahap selanjutnya dilakukan uji normalitas untuk mengetahui data berdistribusi normal atau sebaliknya, ketika data tidak normal selanjutnya akan di uji menggunakan uji statistik nonparametrik menggunakan uji kruskal wallis. Hasil uji normalitas dapat dilihat melalui tabel berikut:

Tabel 4. Uji Normalitas Kolmogorof-Smirnov

Tests of Normality							
	Massa Tanaman	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil Uji Cr	100 gram	.186	5	.200*	.966	5	.848
	100 gram Duplo	.246	5	.200*	.816	5	.108
	150 gram	.306	5	.143	.776	5	.051
	150 gram Duplo	.302	5	.154	.780	5	.055

200 gram	.352	5	.042	.710	5	.012
200 gram Duplo	.308	5	.136	.785	5	.061

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Pada hasil uji normalitas seperti yang terdapat pada tabel 4.11 diatas, yaitu menggunakan uji Shapiro-Wilk dikarenakan data kurang dari 50 sampel. Data diatas menunjukkan bahwa data hasil yang telah didapatkan tidak berdistribusi normal. Pada kolom Shapiro-Wilk, nilai signifikansi salahsatu data sebesar 0,012 atau $< 0,05$. Uji Shapiro-Wilk standart signifikan apabila nilainya $> 0,05$ maka distribusi data dinyatakan memenuhi asumsi normalitas, dan jika nilainya $< 0,05$ maka diinterpretasikan sebagai tidak normal (Telussa, 2013).

Tabel 5. Hasil Uji Statistik Kruskal Wallis

Test Statistics ^{a,b}	
	Hasil Uji Cr
Chi-Square	2.965
df	5
Asymp.Sig.	.705
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: Massa Tanaman	

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan pada tabel 4.11 diatas menunjukkan hasil uji kruskal wallis didapatkan nilai signifikan p-value sebesar $0,705 > 0,05$ yang artinya H_0 "diterima" dan H_1 "ditolak", sehingga tidak ada perbedaan nyata (signifikan) pada variasi berat basah 100 gram, 150 gram, 200 gram tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan kadar logam berat Cr6+. Hal ini disebabkan karena sedikitnya variasi jumlah tanaman yang digunakan, waktu tinggal yang singkat sehingga jumlah data yang diperoleh sedikit (Hibatullah, 2019).

4. Kesimpulan dan Saran

Efisiensi removal logam berat Cr6+ yang ditunjukkan oleh tanaman *Azolla microphylla* dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang menjanjikan. Dari hasil penelitian, dapat diamati bahwa efisiensi pengurangan konsentrasi Cr6+ meningkat seiring dengan peningkatan berat tanaman *Azolla microphylla* di dalam reaktor. Reaktor X1, X2, dan X3 menunjukkan tingkat efisiensi yang berturut-turut 72,5%, 82,5%, dan 87,3%. Ini menandakan bahwa semakin banyak tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi, semakin efektif proses tersebut dalam mengurangi konsentrasi Cr6+ dari air limbah.

Analisis statistik yang dilakukan menggunakan uji SPSS nonparametrik Kruskal-Wallis menunjukkan hasil yang menarik. Dengan mendapatkan nilai signifikansi sebesar 0,705 yang lebih besar dari level signifikansi yang ditetapkan (0,05), dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam efisiensi fitoremediasi antara ketiga variasi berat tanaman *Azolla microphylla* yang digunakan. Ini berarti, meskipun ada peningkatan efisiensi removal seiring dengan peningkatan berat tanaman, perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik.

Hasil ini memberikan wawasan penting bahwa dalam konteks penelitian ini, kuantitas tanaman *Azolla microphylla* yang digunakan mungkin tidak menjadi faktor kunci dalam menentukan efisiensi fitoremediasi terhadap Cr6+. Namun, meskipun tidak ada perbedaan signifikan antara variasi berat tanaman, meningkatkan jumlah tanaman mungkin masih merupakan pendekatan yang baik untuk memaksimalkan efisiensi removal Cr6+ secara keseluruhan. Selanjutnya, untuk penelitian lanjutan, mungkin relevan untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi fitoremediasi, seperti durasi, kepadatan tanaman, atau kondisi lingkungan lainnya..

Daftar Pustaka

- Asih, D. W., & Rachmadiarti, F. (2019). *Azolla Microphylla* sebagai Fitoremediator Logam Pb. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 8(1), 85–90.
- Billah, A. R., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2020). Phythoremediasi Chromium Total (Cr-T) menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada limbah cair batik. *Jurnal Biologi Udayana*, 24(1), 47. <https://doi.org/10.24843/jbiounud.2020.v24.i01.p06>
- Christy, B. (2017). *Kualitas Unsur Hara Kompos Campuran Limbah Kulit Pisang Kepok Musa paradisiaca dan Azolla microphylla*. 12–26.
- da Silva, M. E. J., Mathe, L. O. J., van Rooyen, I. L., Brink, H. G., & Nicol, W. (2022). Optimal Growth

- Conditions for *Azolla pinnata* R. Brown: Impacts of Light Intensity, Nitrogen Addition, pH Control, and Humidity. *Plants*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/plants11081048>
- Effendi, I., & Ilhahi, I. (2019). Teknik Budidaya *Azolla microphylla* Pada Media Ember dan Kolam Terpal. *Journal of Rural and Urban Community Empowerment*, 1(1), 67–71.
- Goang, M. A., Studi, P., Perairan, B., Pertanian, F., & Batanghari, U. (2018). *Skripsi Pengaruh Kepadatan Azolla (Azolla microphylla) Terhadap Akumulasi Logam Merkuri (Hg) dalam Daging Ikan Patin Siam (Pangasius hypophthalmus) di KJA Danau Sipin Jambi*.
- Gupta, D. K., Huang, H. G., & Corpas, F. J. (2013). Lead tolerance in plants: Strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2150–2161. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1485-4>
- Hibatullah, H. F. (2019). *Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) dengan Sistem Batch*. 1–82.
- Kurniati, E., Huy, V. T., Anugroho, F., Sulianto, A. A., Amalia, N., Nadhifa, A. R., Lingkungan, S. T., Pertanian, F. T., Brawijaya, U., Kurniati, E., Teknik, P. S., & Teknologi, F. (2020). Analisis pengaruh pH dan suhu pada desinfeksi air menggunakan microbubbles dan karbondioksida bertekanan. 10(2), 247–256.
- Muhammad, F. dkk (2015). (2015). *Azolla microphylla* Bioremoval as Countermeasures Alternative of Heavy Metals (Zn) In the Cultivation Media. *Universitas Riau*, 1–7.
- Muthoharoh, R. (2018). *Pemanfaatan Tumbuhan Semanggi (Marsilea crenata) sebagai Fitoremediator Logam Kromium Total (Cr) Pada Limbah Cair Batik*. 1(3), 1–63.
- Nilamsari, D. D., & Rachmadiarti, F. (2019). Kemampuan *Azolla microphylla* dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) pada Konsentrasi yang Berbeda. *LenteraBio*, 8(3), 207–212.
- Nurmalita, N. S. (2018). Hubungan Pertumbuhan Tanaman *Cyperus haspan* L. Terhadap Penyerapan Kromium (Cr) pada Media 25% Limbah Cair Batik. In *Energies* (Vol. 6, Nomor 1). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Prasetyo, H. D., N, A. F., K, A. A., Nazirah, Y., & Viska, P. (2022). Pemanfaatan *Salvinia molesta*, *Marsilea crenata* dan *Azolla pinnata* Sebagai Agent Fitoremediasi Insektisida Diazinon. *Biotropical Research and Nature Technology*, 1(1), 7–13.
- Pratiwi, Y., Sunarsih, S., & Dewi, K. P. (2019). Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating dengan Fitoremediasi Menggunakan *Azolla Microphylla*. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 54–62.
- R, M. K. et al. (2020). *AZOLLA: THE WONDER FERN*. 01(01), 25–27. <https://www.researchgate.net/publication/343110471>
- Ragilyani, N., & Dewi, A. P. (2021). Pengaruh Pencahayaan Alami Terhadap Kenyamanan Visual Di. *Sinektika Jurnal Arsitektur*, 18(1), 85–92.
- Sadeghi, H., Fazlzadeh, M., Zarei, A., Mahvi, A. H., & Nazmara, S. (2022). Spatial Distribution and Contamination of Heavy Metals in Surface water, Groundwater and Topsoil Surrounding Moghan's Tannery Site in Ardabil, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(5), 1049–1059. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1730342>
- Sari, E. M. S. dkk. (2017). Potensi Tanaman *Azolla (Azolla pinnata)* Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II), Ion Kadmium (II), dan Ion Kromium (VI). *Repository Universitas Riau*, 1–8.
- Sari, K. P. (2021). Analisis Perbedaan Suhu Dan Kelembaban Ruangan Pada Kamar Berdinding Keramik. *Jurnal Inkofar*, 1(2), 5–11. <https://doi.org/10.46846/jurnalinkofar.v1i2.156>
- Setiyono, Andik & Gustaman, R. A. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, 6(3), 156–160.
- Sidaruk, Lamria & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Sumantri, A., & Rahmani, R. Z. (2020). Analisis Pencemaran Kromium (VI) berdasarkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Hulu Sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat 2018. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 144–151. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.144-151>

- Telussa, A. D. E. M., Persulesy, E. R., & Leleury, Z. A. (2013). *DENGAN EFEKTIVITAS KERJA PEGAWAI (Studi Kasus pada Badan Pendapatan , Pengelolaan Keuangan dan Aset Daerah Provinsi Maluku)*. 7(1), 15–18.
- Tumolo, M., Ancona, V., De Paola, D., Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2020). Chromium pollution in European water, sources, health risk, and remediation strategies: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155438>
- Vidiyanti, C., Siswanto, R., & Ramadhan, F. (2020). Pengaruh Bukaam Terhadap Pencahayaan Alami Dan Penghawaan Alami Pada Masjid Al Ahdhar Bekasi. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(1), 20–33. <https://doi.org/10.17509/jaz.v3i1.18621>
- Wuran, V., Febriani, H., & Subagiyanto. (2018). FITOREMEDIATION OF KIAMBANG PLANT (*Salvinia molesta*) AGAINST DECREASE IN PHOSPAT LEVELS ON ANIMAL WASTE WATER BUSINESS. *Jurnal kesehatan masyarakat*, 5, 42–47.