



## Potensi Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*) Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair Home Industry Batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan

<sup>1</sup>Irssa Intan Fatiha, <sup>2</sup>Nirmala Fitria Firdhausi, <sup>3</sup>Atiqoh Zummah

<sup>1</sup>Program Magister Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>2,3</sup>Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*Corresponding Author e-mail: [intanirssa68@gmail.com](mailto:intanirssa68@gmail.com)

Received: February 2025; Revised: February 2025; Accepted: March 2025; Published: March 2025

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi tumbuhan melati air terhadap waktu optimal penyerapan, penurunan kadar logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik Sendang dan mengamati morfologi tumbuhan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dan empat kali pengulangan, sehingga terdapat 16 petak percobaan. Pengujian logam berat menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) pada hari ke-9, 12, 15, dan 18 pemaparan, penurunan kadar logam berat Pb berturut-turut sebesar 3.71, 2.65, 0.80, dan 0.14 ppm, kadar logam berat Cu nilai penurunannya berturut-turut sebesar 4.09, 2.85, 0.31 dan 0.26 ppm. (2) Rata-rata laju penyerapan logam berat Pb pada lama waktu pemaparan 9, 12, 15, dan 18 hari berturut-turut sebesar 0.8, 0.14, 0.24 dan 0.23 ppm, logam berat Cu berturut-turut sebesar 0.23, 0.28, 0.40 dan 0.33 ppm. (3) Perubahan morfologi yakni munculnya tunas baru 2-3 setiap perlakuan, batang sedikit merunduk, daun mengalami perubahan warna kuning hingga kecoklatan serta bintik-bintik coklat di seluruh perlakuan dan hari ke-18 salah satu daun mati. (4) Hasil awal uji statistik logam Pb dan Cu bernilai sig >0,05, dimana data terdistribusi normal dan homogen. (5) Pada hasil uji One Way Anova bernilai sig = 0,000 < 0,05 atau terdapat pengaruh lama waktu pemaparan dan hasil uji post hoc Pb bernilai < 0,05 sedangkan beberapa logam Cu bernilai > 0,05.

**Kata Kunci:** fitoremediasi; *Echinodorus radicans*; logam berat; timbal (Pb); tembaga (Cu)

**Abstract:** This study aims to determine the potential of water jasmine plants for optimal absorption time, reduction of heavy metal levels of Pb and Cu in Sendang batik liquid waste, and to observe plant morphology. This study uses an experimental method with a one-factor Completely Randomized Design (CRD) and four repetitions, resulting in 16 experimental plots. Heavy metal testing uses an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that (1) on days 9, 12, 15, and 18 of exposure, the decrease in Pb heavy metal levels was 3.71, 2.65, 0.80, and 0.14 ppm, heavy metal Cu levels decreased consecutively by 4.09, 2.85, 0.31 and 0.26 ppm. (2) The average absorption rate of heavy metal Pb at exposure times of 9, 12, 15, and 18 consecutive days was 0.8, 0.14, 0.24 and 0.23 ppm, respectively, and the heavy metal Cu was 0.23, 0.28, 0.40 and 0.33 ppm. (3) Morphological changes, namely the appearance of 2-3 new shoots for each treatment, the stems drooping slightly, the leaves changing color to yellow to brownish and brown spots throughout the treatment and on the 18th day one of the leaves died. (4) The initial results of the statistical test for Pb and Cu metals have a sig value of >0.05, where the data is normally distributed and homogeneous. (5) In the One Way Anova test results, sig = 0.000 < 0.05 or there is an effect of exposure time and the post hoc Pb test results are < 0.05 while some Cu metals are > 0.05.

**Keywords:** phytoremediation; heavy metals; *Echinodorus radicans*; lead (Pb); copper (Cu)

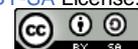
**How to Cite:** Fatiha, I., Firdhausi, N., & Zummah, A. (2025). Potensi Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*) Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair Home Industry Batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(1), 176-196. doi:<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i1.14892>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i1.14892>

Copyright© 2025, Fatiha et al

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan budaya melimpah yang hingga saat ini melestarikan karya seni budaya turun menurun yaitu salah satunya industri batik. Industri batik di Indonesia terbagi dalam beberapa kategori, diantaranya industri skala besar, menengah, kecil, hingga skala rumah tangga (*Home industry*). Perkembangan industri batik yang umum dijumpai di Indonesia adalah produksi

berskala rumah tangga (*Home industry*). Hal tersebut didasari untuk mempertahankan corak dan kualitasnya. Adanya industri batik mampu memberikan kontribusi berupa ketersediaan lapangan kerja. Selain itu, hasil samping produksi batik berupa limbah cair akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah merupakan hasil dari sisa pembuatan suatu kegiatan manusia yang sudah tidak terpakai, tidak memiliki nilai ekonomi, dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak diolah dengan baik dan benar (Oktavia *et al.*, 2016). Menurut Indrayani (2019) Kebanyakan industri batik skala rumahan (*Home industry*) jarang ditemukan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) batik. Sehingga limbah cair yang belum dikelola dan dibuang ke lingkungan akan menyebabkan permasalahan lingkungan.

Permasalahan yang terjadi dalam produksi batik adalah limbah cair yang dihasilkan. Menurut Indrayani (2019), limbah cair batik dihasilkan dari proses pelepasan malam (*Pelorodan*) dan pencucian kain batik. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam limbah cair batik identik dengan keberadaan logam berat. Kandungan logam berat dalam limbah cair batik yang masuk kedalam badan air umumnya melebihi batas baku mutu air dan memiliki dampak negatif bagi makhluk hidup. Hal tersebut dikarenakan partikel-partikel logam berat yang sulit teruraikan (*non-degredeable*) oleh mikroorganisme. Limbah cair batik umumnya mengandung logam berat dari zat pewarna yang berasal selama proses pewarnaan kain batik. Zat warna yang digunakan dalam proses pewarnaan umumnya termasuk dalam senyawa aromatik kompleks dengan karakteristik sukar terburai (Eskani *et al.*, 2005).

Ciri-ciri umum limbah cair batik diantaranya bewarna pekat kental dengan warna cerah hingga kehitaman, berbau tajam, tingkat kekeruhan tinggi dan memiliki tingkat kadar fenol, sulfida, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) serta keasaman (pH) yang tinggi. Selain itu, kandungan logam berat juga terkandung dalam limbah cair batik yang bersifat sukar larut, misalnya logam Pb, Cu, Cr, Cd, Zn dan padatan tersuspensi serta zat organik lainnya (Oktavia *et al.*, 2016). Penelitian terdahulu oleh Agustina *et al.* (2011) pada sampel limbah cair pencelupan batik cap khas Palembang menyatakan bahwa dalam limbah cair batik tersebut mengandung beberapa logam berat yaitu Cr (chrom total), Fe (besi), Cu (tembaga), Zn (seng), Cd (kadmium), dan Pb (timbal) dengan standar baku mutu air diatas rata-rata. Adapun kandungan logam Cd, Cu dan Pb dalam limbah cair batik berasal dari zat warna reaktif (zat organik). Sedangkan logam Zn dan Cu dari zat pewarna sintesis naphthol dan pewarna ergan soga menghasilkan logam Cr maupun Cu (Eskani *et al.*, 2005).

Kondisi lingkungan yang tercemar limbah cair batik akan menjadi keruh akibat pencampuran zat warna dari proses pewarnaan. Ciri khas pewarna sintesis batik akan memberikan warna cerah yang sukar memudar pada kain. Pewarna batik mengandung senyawa organik dengan kadar tinggi yang jika terakumulasi dan masuk kedalam siklus rantai makanan dapat menyebabkan berbagai penyakit bagi makhluk hidup (Nurbidayah *et al.*, 2014). Puspita (2011) mengungkapkan bahwa penggunaan berbagai jenis bahan pewarna sintesis pada limbah, maka akan mengandung banyak logam berat.

Adapun karakteristik fisik limbah cair *home industry* batik desa sendang kabupaten Lamongan sendiri berwarna coklat kehitaman, terlihat keruh kental, berminyak dan sedikit berbau. Sementara itu, berdasarkan karakteristik kimia yakni nilai pH dalam limbah cair berkisar >8,5 atau bersifat basa. Pada hasil uji pendahuluan kandungan logam berat di laboratorium terhadap limbah cair batik disalah satu *home industry* batik di desa Sendang kabupaten Lamongan, diketahui mengandung beberapa logam berat yakni logam berat Pb (61, 58 ppm), (Cd 48, 12 ppm), Cu (58,

60 ppm), Cr (34, 84 ppm), dan Zn (51, 82 ppm), namun kadar logam berat ini dapat berubah seiring dengan waktu pengambilan sampel limbah cair batik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil uji tersebut kandungan logam berat terbesar dimiliki oleh senyawa Pb dan Cu.

Keberadaan logam Pb dalam umumnya berikatan dengan molekul lain seperti  $PbBr_2$  dan  $PbCl_2$ . Kandungan Pb dalam bentuk oksida dapat dijumpai pada pewarna dalam industri tekstil (Gusnita, 2012). Limbah yang mengandung logam Pb (timbal) dipastikan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Hidayati, 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 berkenaan dengan pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air disebutkan bahwa batas baku mutu timbal (Pb) dalam badan air sebesar 0,03 mg/L (Husainy *et al.*, 2014). Selain itu, logam berat Pb diketahui sebagai zat berbahaya bagi makhluk hidup. Adapun dampak bagi makhluk hidup terutama akan mempengaruhi kesehatan. Dampak yang ditimbulkan diantaranya menyebabkan perubahan pada ukuran dan bentuk eritrosit (sel darah merah) sehingga tubuh manusia merespon sebagai tekanan darah tinggi hingga sistem syaraf, fungsi ginjal dan paru-paru terganggu serta rusaknya sistem reproduksi. Selain orang dewasa paparan Pb juga berdampak pada anak-anak yaitu berkurangnya nilai IQ manusia dan terjadi gangguan mental (Gusnita, 2012).

Pada kandungan tembaga (Cu) dalam limbah cair (*Home industry*) batik sendang juga cukup tinggi yaitu sebesar 58,60 ppm. Nilai tersebut tidak sesuai standar baku mutu tembaga (Cu) diperairan yang menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 yakni sebesar 0,02 mg/L. Logam berat Cu (Tembaga) termasuk senyawa mikro yang diperlukan dalam proses metabolisme suatu organisme baik di darat atau diperairan dengan jumlah sangat sedikit. Jika logam ini terserap secara terus-menerus oleh organisme perairan akan menimbulkan dampak serius (Astuti, 2018). Dampak meningkatnya kadar Cu yang masuk ke perairan dan rantai makanan mampu menyebabkan masalah kesehatan. Beberapa penyakit yang timbul diantaranya hilangnya fungsi lidah, menurunnya nafsu makan, organ hati rusak, anemia, gangguan pencernaan hingga mengakibatkan kematian (Nilamsari & Fida, 2019).

Adapun cara pencegahan kerusakan lingkungan diantaranya mengurangi penggunaan barang yang memicu pencemaran (*reduce*), memakai kembali barang yang masih berguna (*reuse*), mendaur ulang barang yang bermanfaat dikemudian hari (*recycle*), memanfaatkan mikroorganisme pengurai (*bioremediasi*) dan menggunakan tumbuhan untuk mengurangi polutan baik di tanah maupun di air (*fitoremediasi*) (Patandung, 2014). Perbaikan lingkungan tercemar dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan yang berfotosintesis dan disebut sebagai metode fitoremediasi. Metode ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan lingkungan dalam kurun waktu satu dekade terakhir. Pada pengaplikasian tumbuhan sebagai agen fitoremediator telah dibuktikan dalam segi ekonomi yang tidak memerlukan banyak biaya. Hal ini lebih rendah jika dibandingkan dengan metode berlandaskan rekayasa (Hidayati, 2005).

Metode fitoremediasi selain mampu menurunkan konsentrasi zat pencemar yang terkandung di atas ambang baku mutu metode fitoremediasi juga dapat diterapkan dalam penanganan limbah B3 hingga limbah radioaktif (Viobeth *et al.*, 2013). Berdasarkan hasil penelitian Anam (2013) menjelaskan bahwa tumbuhan yang digunakan pada pengolahan air limbah umumnya adalah tumbuhan akuatik. Hal tersebut didasari karena tumbuhan akuatik dapat beradaptasi dan lebih efisien dalam mengolah kandungan logam berat limbah cair sehingga menjadi tidak berbahaya. Selain itu, menurut Baroroh & Irawanto (2016) tumbuhan agen fitoremediator yang

memiliki karakteristik untuk memenuhi syarat yaitu tumbuhan tersebut tidak termasuk tumbuhan obat, bahan pangan atau pakan berbagai macam ternak.

Salah satu tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini adalah melati air (*Echinodorus radicans*). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wibowo *et al.* (2014) tentang pengolahan air lindi di TPA Batu Layang kota Pontianak mengungkapkan bahwa penggunaan tumbuhan *Echinodorus radicans* dapat mengakumulasi logam berat Cu, Fe, dan Zn berturut-turut sebesar 82,9%, 92,3%, dan 90,5%. Penyerapan logam dilakukan oleh akar dan diakumulasikan ke organ lain tumbuhan, misalnya bagian batang dan jaringan daun. Menurut Caroline & Guido (2015) dalam penelitiannya menggunakan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat menyerap logam timbal (Pb) dalam limbah industri peleburan tembaga dan kuningan sebesar 4,87 mg/Kg dengan presentase penyisihan sebesar 81,72% serta efisiensi akumulasi oleh *Echinodorus radicans* sebanyak 55,97%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Perwitasari *et al.* (2018) menyatakan bahwa *Echinodorus radicans* dengan pemberian logam berat Pb 4 ppm dan memiliki nilai efektivitas sebesar 89,59%.

Menurut hasil penelitian Santriyana *et al.* (2013) menegaskan bahwa tumbuhan *Echinodorus palaefolius* memiliki efektivitas dalam menyerap logam Aluminium (Al) pada limbah cair Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) PDAM kota Pontianak paling baik sebesar 96,46%. Meski memiliki nilai efektivitas paling tinggi, namun memiliki daya ketahanan hidup rendah yang ditandai oleh perubahan morfologi. Kurniawati (2018) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat mengakumulasi logam Pb dan Cu dengan perlakuan pemberian limbah sungai opak. Kandungan logam Pb yang terakumulasi pada daun di dalam sel dan jaringan epidermis, spons, dan palisade sebesar 0,0068 mg/L dan logam Cu sebesar 0,0075%. Berdasarkan pemaparan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan terkait penggunaan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam beberapa pengolahan limbah mengandung logam. Maka dari itu tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dianggap memiliki potensi sebagai agen fitoremediator logam berat dari limbah cair batik karena masih satu marga dengan *Echinodorus palaefolius* (Baroroh & Irawanto, 2016).

Berdasarkan pada penelitian terdahulu tentang fitoremediasi, dalam penelitian ini menggunakan pemanfaatan tumbuhan akuatik yaitu melati air (*Echinodorus radicans*) selaku agen fitoremediator untuk dapat menekan tingginya kadar logam berat dalam limbah cair *Home Industry* Batik desa Sendang. Tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) juga memiliki nilai estetika diperairan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan tujuan mengetahui potensi Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*) Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair *Home Industry* Batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dan empat kali pengulangan, sehingga terdapat 16 petak percobaan. Perlakuan yang diberikan adalah variasi lama waktu pemaparan limbah cair batik, yaitu 9, 12, 15, dan 18 hari. Penelitian ini berlangsung di Laboratorium Terintegrasi UINSA dari Desember 2021 hingga Februari 2022, dengan analisis sampel dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Alat yang digunakan meliputi bak plastik, alat-alat gelas, pH meter, termohigrometer, dan perangkat AAS. Sedangkan, bahan penelitian terdiri dari

tanaman melati air (*Echinodorus radicans*), limbah cair batik, larutan induk Pb dan Cu, serta beberapa pereaksi kimia lainnya. Variabel penelitian mencakup variabel kontrol (jenis tanaman dan volume sampel), variabel bebas (lama waktu paparan), serta variabel terikat (morfologi tanaman, laju penyerapan logam berat, perubahan pH, dan suhu).

Proses penelitian dimulai dengan persiapan bahan dan aklimatisasi tanaman selama tujuh hari menggunakan aquades dan pupuk NPK cair. Kemudian dilakukan uji pendahuluan (*Range Finding Test/RFT*) untuk menentukan toleransi tanaman terhadap paparan limbah. Fitoremediasi dilakukan dengan menempatkan tanaman dalam media limbah selama periode yang telah ditentukan, dengan pemantauan parameter pH, suhu, dan morfologi tanaman setiap tiga hari sekali. Pada hari ke-18, dilakukan pengukuran berat basah dan kering tanaman, serta analisis kadar Pb dan Cu menggunakan AAS.

Pengolahan data dilakukan secara kuantitatif menggunakan uji statistik *One Way Anova* untuk melihat pengaruh variasi lama waktu paparan terhadap parameter penelitian. Uji normalitas dan homogenitas dilakukan terlebih dahulu sebelum analisis statistik, dan jika terdapat perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji *post hoc Bonferroni*. Selain itu, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan perubahan kondisi tanaman selama proses fitoremediasi. Efektivitas fitoremediasi diukur melalui laju penyerapan logam berat serta daya serap (*removal efficiency*) dengan perhitungan matematis berdasarkan konsentrasi logam sebelum dan sesudah perlakuan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Limbah Cair *Home Industry* Batik Sendang

Rincian fisik limbah cair batik desa sendang dapat dilihat sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik fisik limbah cair *home industry* batik Desa Sendang

No.	Materi	Baku mutu (PP No. 82 th 2001)	Karakteristik fisik limbah cair batik
1	Warna	Bening	Coklat kehitaman
2	Bau	Tidak berbau	sedikit berbau
3	Suhu	26-32°	29,8°
4	pH	6,7-8,5	8,9
5	Logam Pb	0,03 ppm	41,58 ppm
6	Logam Cu	0,02 ppm	61,83 ppm

Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi industri atau kegiatan usaha lainnya yang dikeluarkan oleh dinas lingkungan hidup provinsi Jawa Timur karakteristik limbah cair batik pada Tabel 1 dinilai melebihi batas baku mutu air diperairan. Hal pertama yang menjadi faktor karakteristik baku mutu air dan dapat dijumpai dengan kontak mata secara langsung yakni warna air. Pada umumnya standar baku mutu air yang baik adalah tidak berwarna. Namun, lain halnya dengan warna air limbah batik yang tampak berwarna coklat kehitaman, sedikit berminyak dan kemungkinan besar disebabkan oleh adanya pencampuran air dengan bahan organik serta penggunaan pewarna sintesis yang umum digunakan oleh pengrajin batik. Timbulnya perubahan warna air limbah batik juga diiringi dengan adanya bau yang kurang sedap. Bau air limbah dapat dipengaruhi oleh kurangnya oksigen terlarut dalam

air, adanya materi-materi organik yang telah mati dan membusuk, perubahan struktur senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam air seperti asam cuka, hidrosulfit maupun asam klorida serta terdapat beberapa mikroorganisme hidup lainnya. Oleh karena itu, kualitas air yang di nilai baik dan memenuhi karakteristik fisik maupun kimia yakni air tersebut tidak memiliki bau dan tidak berwarna serta tidak mengandung padatan yang memungkinkan air tersebut terlihat keruh (Renngiwur *et al.*, 2016).

Standar baku mutu suhu optimal perairan di suatu perairan tropis dengan kondisi baik seperti wilayah negara Indonesia berkisar antara 26-32°C, dimana suhu tersebut dinilai baik bagi pertumbuhan biota air. Oleh sebab itu suhu pada limbah cair batik Sendang yang bernilai 29°C termasuk dalam kondisi baik (Djoharam *et al.*, 2018). Menurut pernyataan Perwitasari *et al.* (2018) nilai pH yang tinggi yakni berkisar  $\geq 8,5$  maka termasuk pH alkalis yang tidak baik bagi kehidupan biota air karena dinilai terlalu basa dan cukup pekat. Nilai pH yang bersifat alkalis tersebut akan berdampak pada kelarutan oksigen dalam air yang menjadi sedikit. Oleh karena itu, nilai pH yang tinggi pada limbah cair batik dapat diasumsikan bersumber dari salah satu proses pembuatan tekstil yakni proses merserisasi. Pada proses merserisasi atau perendaman kain batik yang menggunakan banyak larutan NaOH pekat sebagai pengikat warna kain batik mengakibatkan limbah cair yang dihasilkan dapat bersifat basa (Purnomo, 2010).

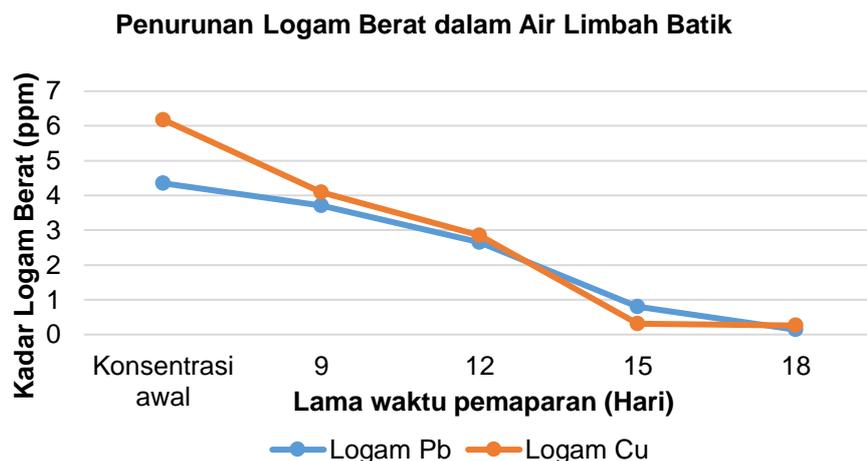
Media tanam tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) yang digunakan selama proses fitoremediasi yakni menggunakan perbandingan konsentrasi limbah cair batik dengan aquades yakni 150:1500. Hal ini dilakukan karena mengingat kondisi tumbuhan selama proses aklimatisasi dan proses *Range Finding Test* (RFT) mengalami sedikit layu dan terjadi perubahan morfologi warna daun menjadi warna kuning hingga kecoklatan pada maksimum 9 hari pemaparan. Hal tersebut didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziyah & Rosariawari (2020) menyatakan bahwa dalam penelitiannya menggunakan limbah cair batik sebagai media tumbuh tanaman kangkung air yang diaplikasikan dengan perbandingan konsentrasi. Perbandingan variasi konsentrasi limbah batik dan aquades yang digunakan yakni (10:90), (30:70), (50:50), (70:30) dan (100:0) dengan 15 hari pemaparan. Hasil dari penelitiannya yakni variasi (10:90) tumbuhan terlihat baik namun sedikit layu, pada (30:70) tumbuhan terlihat layu namun mulai beradaptasi dengan munculnya tunas, pada (50:50) tumbuhan mengalami layu hingga mati, pada (70:30) tumbuhan layu hingga merunduk namun tumbuh tunas dan pada (100:0) tumbuhan mati. Oleh karena itu penggunaan perbandingan konsentrasi limbah batik dan aquades perlu dilakukan agar tumbuhan tetap dalam kondisi fisik yang baik untuk mampu menyerap logam berat dalam waktu pemaparan yang ditentukan. Selain itu, karakteristik fisik limbah cair batik umumnya bersifat keruh atau kental akan dapat menghambat penyerapan zat hara oleh akar karena banyaknya padatan yang terkandung, sehingga penambahan aquades dinilai dapat melonggarkan aktivitas padatan dalam media tumbuh serta memudahkan penyerapan oleh rambut-rambut akar (Fauziyah & Rosariawari, 2020).

### **Penurunan Logam Berat Pb dan Cu dalam Limbah Cair Batik oleh Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*)**

Potensi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam menurunkan kadar logam berat Pb dan Cu selama waktu pemaparan yang dilakukan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cu limbah cair batik pada media air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Konsentrasi Akhir Logam Pb dalam Air (ppm)	Rata-Rata Konsentrasi Logam Pb dalam Air (ppm)	Konsentrasi Akhir Logam Cu dalam Air (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Logam Cu dalam Air (ppm)
9 Hari	1	3.65	3.71	4.18	4.09
	2	3.81		4.09	
	3	3.76		3.88	
	4	3.61		4.20	
12 Hari	1	2.66	2.65	2.90	2.85
	2	2.70		2.81	
	3	2.59		2.78	
	4	2.65		2.89	
15 Hari	1	0.81	0.80	0.31	0.31
	2	0.78		0.32	
	3	0.79		0.29	
	4	0.80		0.31	
18 Hari	1	0.15	0.14	0.30	0.26
	2	0.21		0.28	
	3	0.10		0.25	
	4	0.10		0.22	

**Gambar 1.** Grafik penurunan logam berat Pb dan Cu dalam air limbah batik

Fokus utama pada penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi tumbuhan melati air yang selain sebagai tumbuhan hias juga memiliki nilai ekologi yakni berkemampuan sebagai agen fitoremediator lingkungan perairan tercemar. Berdasarkan data grafik pada Gambar 1 dapat dijabarkan bahwa seiring lamanya waktu pemaparan yang dilakukan kadar logam berat Pb dan Cu juga mengalami penurunan dalam media air limbah batik. Hal ini tentu di pengaruhi oleh mekanisme penyerapan yang baik oleh tumbuhan melati air. Selain itu adanya pengenceran awal yang dilakukan turut serta membantu luas permukaan akar sehingga proses penyerapan logam berat dapat berjalan dengan baik (Fauziyah & Rosariawari, 2020). Adapun perhitungan kadar logam berat Pb dan Cu sebagai media tumbuh tanaman.

Pada hasil penelitian diketahui kadar logam berat Pb dan Cu hingga akhir proses fitoremediasi masih bernilai diatas baku mutu air di perairan yakni sebesar 0,03 mg/L untuk Pb dan 0,02 mg/L untuk Cu menurut PP No. 82 Tahun 2001 (Husainy *et al.*, 2014). Salah satu penyebab tumbuhan melati air kurang optimal dalam penyerapan logam berat yaitu di duga karena konsentrasi logam berat sebagai mikronutrien tumbuhan terlalu tinggi dalam limbah cair batik. Oleh karena kebutuhan mikronutrien seperti Pb dan Cu yang hanya sedikit dibutuhkan maka tumbuhan mampu menyerap kadar logam berat pada batas tertentu (Djo *et al.*, 2017). Penurunan logam berat Pb dan Cu juga dipengaruhi faktor internal yakni peristiwa penyerapan dalam akar tumbuhan dibantu oleh adanya mikroorganisme disekitar permukaan akar atau disebut dengan *rhizosfera* dengan mekanisme fitoremediasi yakni *Rhizodegradation*. Peran mikroorganisme sendiri sebagai pendekomposisi unsur-unsur organik, anorganik dan logam berat yang melekat di permukaan akar dan telah melalui tahap filtrasi. Mekanisme proses filtrasi unsur-unsur organik dan anorganik tersebut dilakukan oleh rambut halus akar pada akar serabut tumbuhan seperti pada akar tumbuhan melati air dalam jumlah banyak (Widyawati & Kuntjoro, 2021).

### Morfologi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*)

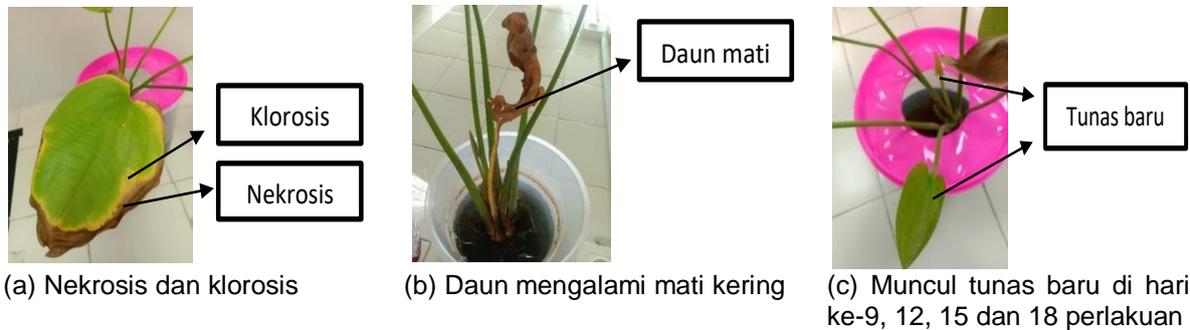
Data perubahan morfologi melati air (*Echinodorus radicans*) tersebut tersaji pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perubahan morfologi melati air berdasarkan lama waktu pemaparan

No.	Lama Waktu Pemaparan	Perubahan Morfologi Tumbuhan		
		Daun	Batang	Tunas
1	9 hari	Hijau segar	Kokoh	1-2 helai
2	12 hari	Berwarna kuning kecoklatan & berbintik coklat	Kokoh	2-3 helai
3	15 hari	Berwarna kuning kecoklatan kering & berbintik coklat	Sedikit runduk	2-3 helai
4	18 hari	Pinggiran daun coklat kering & berbintik coklat	Sedikit runduk	2-3 helai

Berdasarkan uraian data pada Tabel 3 dapat dijabarkan bahwa di hari ke-9 pengamatan tumbuhan tidak menunjukkan perubahan morfologi secara signifikan baik bagian daun yang berwarna hijau segar dan batang kokoh. Namun di salah satu ulangan pinggiran daun berwarna kuning sedikit kering dan timbul bintik-bintik coklat serta tumbuh tunas baru 1-2 helai daun. Pada hari ke-12 pengamatan morfologi menunjukkan batang kokoh, ujung hingga pinggiran daun berwarna kuning kecoklatan dengan sedikit bercak daun berwarna coklat. Namun pada semua pengulangan di dapati tumbuh tunas 2-3 helai daun. Pada hari ke-15 pengamatan batang sedikit merunduk ke bawah. Ujung hingga pinggiran daun melati air berwarna kuning kecoklatan kering dengan sedikit lebih banyak bintik-bintik kecil berwarna kuning hingga coklat. Tumbuh tunas baru 2-3 helai per pengulangan. Pada hari ke-18 salah satu batang tampak merunduk ke bawah dan terdapat helai daun yang mati mengering namun tunas tumbuh 2-3 helai pada semua pengulangan. Timbul warna coklat kering di pinggiran daun di semua pengulangan dan terdapat bintik coklat. Pada pengulangan ke-4 daun mengalami klorosis dan nekrosis. Kondisi tumbuhan selama proses fitoremediasi.

Perubahan warna daun menjadi kuning hingga kecoklatan yang terjadi setelah melalui proses fitoremediasi dapat disebabkan karena aktivitas dalam air limbah cair batik yang mengandung senyawa logam berat Pb dan Cu berlebih secara kimiawi. Sejatinya kandungan logam berat yang terserap oleh sel dan jaringan tumbuhan diatas ambang baku mutu merupakan suatu awal gejala toksisitas. Selain itu lamanya waktu pemaparan yang dilakukan juga mempengaruhi perubahan warna pada daun dan menyebabkan kerusakan hingga hilangnya klorofil daun (Rizkiaditama *et al.*, 2017). Kondisi tumbuhan selama proses fitoremediasi. Adapun contoh gejala yang di alami tumbuhan selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



**Gambar 2.** Perubahan morfologi melati air berdasarkan lama waktu pemaparan

Gambar 2 adalah contoh dari gejala kerusakan makroskopis berupa perubahan warna daun yang semula hijau menjadi warna kuning kecoklatan hingga coklat mengering pada bagian pinggiran daun di hari ke-9, 12, 15, dan 18 pengamatan. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh pengaruh tingginya konsentrasi limbah cair batik yang diberikan. Namun perubahan warna pada daun tersebut tidak menyebar merata di seluruh organ daun tetapi hanya temukan di pinggiran daun dan di jumpai bintik-bintik pada daun berwarna kecoklatan (nekrosis). Menurut Widiarso (2011) perubahan warna daun dapat disebabkan oleh tingginya polutan yang terserap sehingga kualitas dan kuantitas klorofil pada daun perlahan-lahan menurun seiring meningkatnya lama waktu pemaparan. Pembentukan klorofil hingga jumlah kloroplas yang rendah akan menyebabkan berkurangnya kadar makronutrien yang membantu pertumbuhan tanaman khususnya daun dan batang. Meskipun pemenuhan unsur makronutrien telah diberikan berupa pupuk NPK cair di awal penelitian namun menurut Kurniawati *et al.* (2015) pemberian pupuk NPK pada tumbuhan harus dilakukan secara bertahap agar unsur hara baik mikro maupun makro tumbuhan terpenuhi. Jika pemberian hanya sekali di awal pengamatan maka tidak jarang tumbuhan mengalami kecacatan dan rentan mengalami kerusakan di akhir pengamatan.

Perlakuan pemberian pupuk NPK cair pada proses fitoremediasi bertujuan sebagai pemenuhan makronutrien unsur hara selama proses pertumbuhan melati air. Jenis pupuk NPK cair yang diberikan memiliki kandungan unsur hara makro yakni N (*nitrogen*), P (*fosfor*) dan K (*kalium*). Menurut Arisandy *et al.* (2018) adanya pupuk NPK cair yang ditambahkan ke dalam media tumbuh tumbuhan dinilai mampu memulihkan sifat kimia, fisik, dan biologi media tanam tumbuhan sehingga mendukung keseimbangan dan tercukupinya unsur hara bagi kelangsungan hidup tumbuhan tersebut. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian, dimana meskipun di dapati organ tumbuhan yang mengalami klorosis maupun nekrosis tumbuhan melati air mampu memunculkan tunas baru 1-3 helai pada setiap perlakuan dan pengulangan yang dilakukan hingga batang yang terlihat kokoh namun sedikit merunduk.

Pada pernyataan Rizkiaditama *et al.* (2017) menyebutkan bahwa sintesa klorofil tumbuhan dapat terhambat jika tumbuhan tersebut terlalu banyak menyerap logam

berat dalam waktu perlakuan yang lama. Selain itu, terjadinya penghambatan kerja enzim katalase selama proses katalis sintesa klorofil dapat menyebabkan timbulnya klorosis pada tumbuhan. Klorosis adalah bentuk perubahan organ tumbuhan yang menjadi kuning hingga pucat umumnya pada daun dan batang akibat terganggunya proses pembentukan klorofil (Rizkiaditama *et al.*, 2017). Selain warna daun berubah menjadi kuning, daun pada penelitian ini juga mengalami gejala nekrosis. Nekrosis merupakan bentuk perubahan bagian tumbuhan menjadi berwarna kecoklatan hingga menjadi kering dan tidak jarang menimbulkan bintik-bintik kecoklatan pada daun (Baroroh *et al.*, 2018).

Peristiwa translokasi logam berat ke dalam bagian daun dapat memicu terjadinya kerusakan kutikula dan stomata daun yang berdampak pada terganggunya proses respirasi serta proses fotosintesis, sehingga timbul gejala nekrosis dan klorosis daun. Selain itu, keberadaan logam berat yang tinggi dalam organ tumbuhan juga dapat memicu terhambatnya pertumbuhan tumbuhan hingga terganggunya proses metabolisme tumbuhan baik pada bagian jaringan hingga sel-sel di sekitar meristem akar dan batang (Rizkiaditama *et al.*, 2017). Adapun terjadinya kerusakan organ tumbuhan yang menyebabkan warna kuning pada daun maupun batang diduga dipicu oleh tingginya kadar Cu yang terserap oleh tumbuhan melati air. Konsentrasi logam berat Cu pada umumnya dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah sedikit sebagai sumber mikronutrien. Namun jika logam berat Cu pada limbah cair batik yang dinilai melebihi batas baku mutu akan menjadi pemicu utama sel tumbuhan terganggu dan mengalami lisis (Sanjaya & Bhandesa, 2019). Menurut pernyataan Elawati *et al.* (2018) tingginya keberadaan logam berat Cu yang berikatan dengan gugus asam amino memicu terhambatnya kerja enzim katalase dan struktur protein. Oleh karena hal ini gejala klorosis dan nekrosis pada daun melati air pun muncul secara bertahap seiring lamanya waktu pemaparan. Adapun enzim katalase berperan dalam pembentukan klorofil daun, dimana jika prosesnya terganggu maka struktur sulfidril daun akan mengalami kerusakan hingga kecacatan.

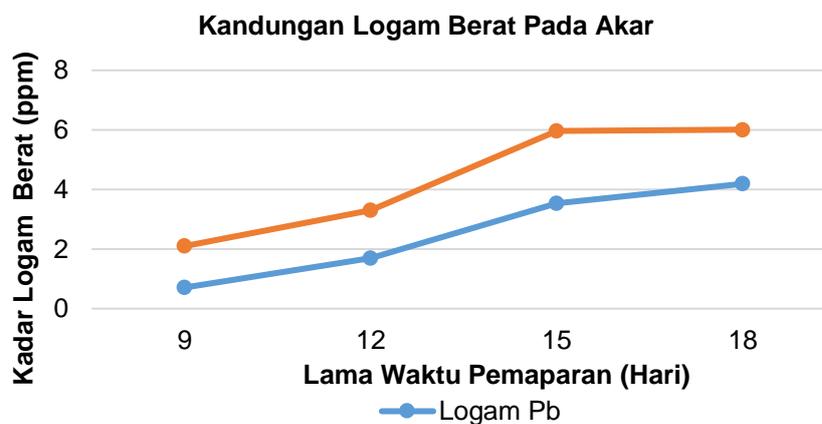
### Laju Penyerapan Logam Berat Pb dan Cu oleh Tumbuhan Melati Air

Hasil analisa laju penyerapan logam berat Pb dan Cu oleh tumbuhan melati air tersaji pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil analisa kandungan logam berat Pb dan Cu pada akar melati air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Konsentrasi Akhir Logam Pb Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Pb Pada Akar (ppm)	Konsentrasi Akhir Logam Cu Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Cu Pada Akar (ppm)
9 Hari	1	0.72	0.71	2.08	2.10
	2	0.69		2.10	
	3	0.70		2.27	
	4	0.71		1.96	
12 Hari	1	1.70	1.70	3.26	3.31
	2	1.65		3.29	
	3	1.75		3.36	
	4	1.68		3.31	
15 Hari	1	3.51	3.53	5.81	5.97
	2	3.48		6.05	
	3	3.60		5.91	

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Konsentrasi Akhir Logam Pb Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Pb Pada Akar (ppm)	Konsentrasi Akhir Logam Cu Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Cu Pada Akar (ppm)
18 Hari	4	3.51	4.19	6.12	6.01
	1	4.21		5.95	
	2	4.30		6.08	
	3	4.18		5.99	
	4	4.06		6.00	



**Gambar 3.** Grafik kandungan logam berat Pb dan Cu pada akar melati air

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa adanya peningkatan kandungan logam berat Pb dan Cu dalam akar tumbuhan sejalan dengan lamanya waktu pemaparan yang dilakukan. Namun dalam hal ini akar tumbuhan melati air terlihat lebih banyak dan baik dalam menyerap logam Cu dengan kandungannya lebih tinggi dibandingkan dengan logam Pb dalam akar. Hal ini dipengaruhi pada saat uji awal terhadap limbah cair batik diketahui bahwa konsentrasi logam berat Cu lebih tinggi dibandingkan dengan logam Pb. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rompegading *et al.* (2021) jika logam berat Cu merupakan senyawa esensial yang memiliki tingkat kelarutan dalam air pada pH  $\geq 6$ , dimana pada kondisi tersebut logam Cu akan membentuk senyawa kompleks bersama senyawa organik lainnya dalam media tumbuh. Adapun logam berat Pb memiliki tingkat kelarutan cukup rendah dalam air pada pH  $< 5$  dibandingkan dengan logam berat lainnya, sehingga penyerapan logam Cu lebih cepat dibandingkan logam Pb.

Selain pengaruh tingkat kelarutan logam berat diketahui bahwa ion-ion logam Pb bersifat pasif dan memiliki daya translokasi rendah yang dimulai dari bagian akar hingga ke organ tumbuhan lainnya sehingga keberadaannya tidak terlalu terekspresikan pada daun (Khodijah *et al.*, 2016). Adapun logam berat Pb termasuk unsur hara non esensial bagi tumbuhan yang jika terserap akan melewati khelat akar. Jika dibandingkan dengan logam berat lainnya logam Cu memiliki lama waktu pemaparan maksimum tertentu pada konsentrasi tertentu yang dipengaruhi oleh daya adsorpsi yang rendah. Jika penyerapan berlebih logam berat Cu oleh tumbuhan dapat menyebabkan cekaman oksidatif yang berdampak pada terhambatnya jalur metabolik dan terjadi kecacatan makromolekul (Djo *et al.*, 2017). Banyaknya logam berat Pb dan Cu dalam akar yang sebagian berada di daun adalah sebagai bentuk akumulasi kedua

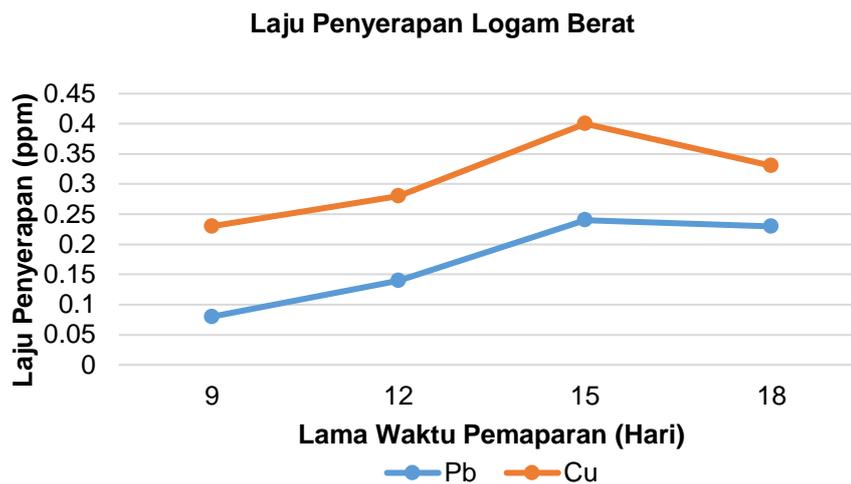
logam tersebut atau disebut dengan fitoekstraksi, yang jika dipanen akan digunakan sebagai salah satu bioenergi.

Tumbuhan dan logam berat yang saling berinteraksi dalam mekanisme penyerapannya pada bagian akar akan melepaskan eksudat akar, misalnya asam amino, sejumlah asam-asam organik hingga senyawa anorganik yang akan mengakumulasi logam berat secara langsung dalam akar (Santriyana, 2013). Menurut Widyawati & Kuntjoro (2021) serapan oleh akar dilakukan menggunakan dua macam cara yakni secara simplas dan apoplast. Pada cara simplas yaitu masuknya logam berat dalam akar simplas yang melalui membran plasma atau plasmodesmata. Sedangkan penyerapan secara apoplast dilakukan jika logam berat masuk dalam akar bebas melewati jarak diantara sel akar. Adapun banyaknya logam berat yang diserap oleh akar dapat dipicu oleh adanya zat khelat yang dimiliki oleh akar tumbuhan melati air tepatnya pada sistem perakaran serabut. Pembentukan zat khelat pada akar disebut dengan fitosidofor. Peranan fitosidofor ini sebagai pengikat logam berat dan mengangkutnya kedalam sel-sel akar melewati transport aktif. Menurut Oktavia *et al.*, (2016) mekanisme pengikatan ion-ion positif logam berat sebagai bentuk penyerapan oleh akar disebabkan adanya sintesis enzimatik dari glutation pada bagian akar. Adanya zat khelat, maka terjadilah penumpukan zat kontaminan bersama unsur hara lainnya dalam akar sehingga akar memiliki kadar logam tertinggi (Widyasari, 2021).

Tujuan dilakukannya proses fitoremediasi tidak lain yaitu karena untuk mengetahui laju penyerapan logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik oleh tumbuhan melati air. Laju penyerapan logam berat dapat diketahui melalui prinsip perhitungan antara berat kering akar (gr) dan konsentrasi masing-masing logam berat (ppm) yang dibagi dengan variasi lama waktu pemaparan yang ditentukan. Berikut data laju penyerapan yang disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Laju penyerapan tumbuhan melati air pada variasi lama waktu pemaparan

Lama Waktu Penyerapan	Pengulangan	Laju Penyerapan Pb (ppm)	Rata-rata Laju Penyerapan Pb (ppm)	Laju Penyerapan Cu (ppm)	Rata-rata Laju Penyerapan Cu (ppm)
9 hari	1	0.08	0.8	0.23	0.23
	2	0.08		0.23	
	3	0.08		0.25	
	4	0.08		0.22	
12 hari	1	0.14	0.14	0.27	0.28
	2	0.14		0.27	
	3	0.15		0.28	
	4	0.14		0.28	
15 hari	1	0.23	0.24	0.39	0.40
	2	0.23		0.40	
	3	0.24		0.39	
	4	0.23		0.41	
18 hari	1	0.23	0.23	0.33	0.33
	2	0.24		0.34	
	3	0.23		0.33	
	4	0.23		0.33	



**Gambar 4.** Grafik laju penyerapan logam berat Pb dan Cu pada akar melati air

Berdasarkan hasil Tabel 5 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa rata-rata data laju penyerapan Pb pada lama waktu pemaparan 9 hari yaitu 0,8 ppm. Laju penyerapan Pb dengan lama waktu 12 yaitu 0,14 ppm. Laju penyerapan Pb dengan lama waktu 15 hari yaitu 0,24 ppm dan laju penyerapan Pb dengan lama waktu 18 hari yaitu 0,23 ppm. Sedangkan rata-rata laju penyerapan Cu pada lama waktu pemaparan 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari berturut-turut adalah 0,23, 0,28, 0,40, dan 0,33 ppm. Oleh karena perbedaan konsentrasi antara logam Cu yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat Pb maka menurut pernyataan Perwitasari *et al.* (2018) semakin tinggi konsentrasi logam berat maka akan mempengaruhi proses metabolisme tumbuhan sehingga berdampak pada rendahnya berat kering tumbuhan dan akan meningkatkan laju penyerapannya. Keberadaan logam Pb yang cenderung lebih sedikit kadarnya dibandingkan logam Cu dalam sel tumbuhan diduga sebagian kecil terakumulasi pada bagian daun melewati transport aktif dan dianggap mempengaruhi metabolisme pembentukan klorofil dan kuantitas kloroplas karena sifat Pb sebagai unsur hara non esensial (Djo *et al.*, 2017).

Mekanisme penyerapan akar yakni melalui membran sel dalam akar serta perlakuan proses absorpsi di perairan terhadap ion-ion logam berat Pb dan Cu. Jika media tanam berkonsentrasi tinggi maka ion-ion positif logam berat akan masuk ke dalam jaringan akar dan berakhir dalam sel akar tumbuhan yang berkonsentrasi rendah bermuatan negatif. Peristiwa ini disebut juga dengan proses difusi (Katipana, 2015). Menurut Widyawati & Kuntjoro (2021) terjadinya penyerapan logam berat oleh akar disebut juga sebagai penyerapan pasif, dimana pita caspary dalam endodermis akar melakukan pengontrolan terhadap akumulasi ion-ion logam berat yang masuk. Pada bagian akar juga melakukan transpirasi hingga terjadi tekanan akar selama waktu pemaparan yang menyebabkan adanya laju penyerapan air sehingga volume air dalam wadah perlakuan mengalami penurunan (Anisa, 2020).

Pada hari ke-15 penelitian ke hari 18 penelitian terjadi penurunan rata-rata laju penyerapan logam berat Pb dan Cu meskipun tidak signifikan. Hal ini diduga disebabkan oleh reaksi tumbuhan melati air yang telah mengalami titik jenuh terhadap penyerapan zat kontaminan. Titik jenuh penyerapan oleh akar merupakan ambang batas maksimum toleransi suatu tumbuhan terhadap mekanisme penyerapan zat kontaminan seperti logam berat dalam media tumbuh. Oleh karena itu, jika tumbuhan telah berada pada titik jenuh penyerapan maka akan terjadi proses eksudat akar

sebagai bentuk pelepasan ion logam berat ke media tumbuh yang sebelumnya ion logam tersebut terserap oleh akar (Fauziyah & Rosariawari, 2020).

Adapun selain dilakukannya perhitungan laju penyerapan pada logam berat Pb dan Cu data penelitian juga diperkuat dengan adanya uji statistika menggunakan spss 26 versi terbaru. Awal pengujian statistika yakni uji normalitas untuk lama waktu penyerapan logam Pb berturut-turut yaitu bernilai sig 0,972, 0,899, 0,195 dan 0,900. Adapun nilai uji normalitas pada lama waktu pemaparan logam Cu berturut-turut bernilai sig 0,766, 0,899, 0,790, 0,598. Hasil uji normalitas kedua logam berat tersebut bernilai sig >0,05 yang artinya data terdistribusi normal. Hal ini diduga disebabkan oleh efektifnya mekanisme penyerapan oleh akar tumbuhan melati air. Adapun pada uji homogenitas bernilai sig 0,250 untuk Pb dan sig 0,159 untuk Cu, dimana kedua nilai tersebut dinyatakan homogen karena sig >0,05. Kedua uji tersebut digunakan sebagai salah satu uji prasyarat untuk ke uji selanjutnya jika data normal dan homogen. Kemudian dilanjutkan dengan uji Anova satu arah atau *One Way Anova* sebagai uji hipotesis antara pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan kadar logam berat Pb dan Cu pada tumbuhan melati air. Taraf signifikansi dalam uji yang digunakan yaitu 0,05. Adapun hasil uji *One Way Anova* diketahui Fhit Pb = 2864,384 (sig = 0,000 < 0,05) sedangkan hasil uji *One Way Anova* Fhit Cu = 1520,727 (sig = 0,000 < 0,05) yang artinya H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>a</sub> diterima. Jika H<sub>a</sub> diterima maka pada penelitian ini terdapat pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan kadar logam berat Pb dan Cu limbah cair batik sendang.

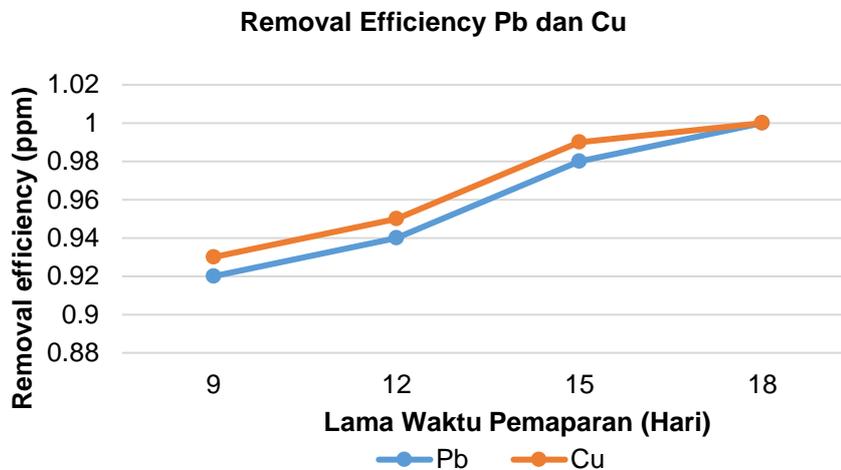
### **Removal Efficiency atau Daya Penyerapan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*)**

Hasil perhitungan daya penyerapan tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap kadar logam berat Pb dan Cu dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** *Removal efficiency* atau daya serap tumbuhan melati air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Daya Serap Pb (ppm)	Rata-rata Daya Serap Pb (ppm)	Daya Serap Cu (ppm)	Rata-rata Daya Serap Cu (ppm)
9 hari	1	0.92	0.92	0.93	0.93
	2	0.91		0.93	
	3	0.91		0.94	
	4	0.92		0.93	
12 hari	1	0.94	0.94	0.95	0.95
	2	0.94		0.95	
	3	0.94		0.96	
	4	0.94		0.95	
15 hari	1	0.98	0.98	0.99	0.99
	2	0.98		0.99	
	3	0.98		1.00	
	4	0.98		0.99	
18 hari	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	1.00		1.00	
	3	1.00		1.00	
	4	1.00		1.00	

Berdasarkan data hasil *Removal efficiency* atau daya penyerapan pada Tabel 6. diketahui bahwa semakin lama waktu pemaparan yang diberikan maka semakin tinggi tingkat pula daya serap tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap media tumbuh limbah cair batik sendang. Adapun grafik peningkatan daya serap logam berat Pb maupun Cu oleh akar tumbuhan melati air dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Grafik removal efficiency atau daya penyerapan logam berat Pb dan Cu

Berdasarkan adanya peningkatan daya serap logam berat Pb dan Cu yang tampak pada Gambar 5 tidak memiliki perbedaan nilai nyata daya serap diantara kedua logam berat tersebut. Hal ini terlihat pada lama waktu pemaparan 18 hari baik logam Pb maupun Cu memiliki rata-rata nilai daya serap yang sama yakni 1.00 ppm. Pada rata-rata perhitungan penyerapan logam berat Pb dan Cu yang mengalami peningkatan dalam daya serapnya seiring perlakuan lama waktu pemaparan maka hal ini sejalan dengan penelitian Wibowo (2014) jika penggunaan tumbuhan melati air memiliki efisiensi terhadap daya serap logam Cu selama meningkatnya waktu pemaparan hingga bernilai 55,97%. Sedangkan pada pernyataan Perwitasari et al., (2018) melati air memiliki nilai efisiensi dalam daya serap logam berat Pb hingga 89,59% yang sejalan dengan meningkatnya perlakuan lama waktu pemaparan serta konsentrasi logam berat yang diberikan.

Pada umumnya proses penyerapan yang mencakup laju penyerapan dan daya serap hingga adsorpsi zat-zat kontaminan oleh tumbuhan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya luas permukaan serapan, sifat adsorbat, jenis logam berat, konsentrasi adsorbat atau logam berat, pH larutan, lama waktu pemaparan, dan suhu atau temperatur (Basri & Hamzah, 2015). Selain itu menurut Rahadian (2017) jenis tanaman dan jumlah tanaman serta umur tanaman juga dapat menjadi pengaruh pada daya penyerapan logam berat. Pada penelitian ini yang menggunakan tumbuhan melati air dari segi morfologi akar memiliki sistem perakaran serabut yang lebat serta setengah terendam air. Hal ini sejalan dengan pernyataan Santriyana (2013) bahwa tingkat efektivitas suatu tumbuhan air agen fitoremediator dilihat dari segi morfologi akar dengan sistem perakaran serabut. Sistem perakaran serabut dinilai dapat menjangkau zat-zat kontaminan lebih tinggi karena memiliki rambut-rambut halus.

Daya penyerapan logam berat Pb dan Cu selain dilakukan oleh akar, tumbuhan melati air diketahui melakukan mekanisme kerja fitovolatilisasi. Fitovolatilisasi merupakan proses tumbuhan melepaskan uap air ke udara bebas yang bersifat tidak berbahaya dan ditandai dengan adanya embun dibagian atas wadah pengamatan.

Logam berat Pb yang dilepaskan berupa  $Pb(O_2)_2$ . Sedangkan logam Cu berubah menjadi  $Cu(O_2)_2$ . Logam berat yang terdapat dalam limbah cair batik termasuk Pb dan Cu tidak sepenuhnya terserap dalam akar karena sebagian mengendap berbentuk molekul-molekul garam dalam air (Novita et al., 2021).

Adanya pengaruh perlakuan variasi lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu yang telah dianalisis menggunakan uji *One Way Anova* maka secara statistik menghasilkan asumsi bahwa setiap lama waktu pemaparan memiliki perbedaan pada masing-masing daya serap logam berat. Jika pada hasil uji *One Way Anova* ( $\text{sig} = 0,000 < 0,05$ ) atau  $H_a$  diterima yakni terdapat pengaruh perlakuan yang diberikan maka uji lanjutan yaitu uji post hoc sangat dianjurkan. Tujuan dilakukannya uji post hoc Bonferroni ini untuk menelaah perbedaan dan perbandingan signifikan data-data disetiap perlakuan lama waktu pemaparan yang diberikan. Adapun hasil analisis uji *post hoc* terdapat pada Tabel 7 untuk logam berat Pb dan Tabel 8 untuk logam berat Cu.

**Tabel 7.** Uji post hoc terhadap daya serap logam berat Pb tumbuhan melati air

Perlakuan	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
P <sub>1</sub>	0.000*	-	-	-
P <sub>2</sub>	-	0.000*	-	-
P <sub>3</sub>	-	-	0.000*	-
P <sub>4</sub>	-	-	-	0.000*

Keterangan: P<sub>1</sub>: Perlakuan 9 hari pemaparan  
 P<sub>2</sub>: Perlakuan 12 hari pemaparan  
 P<sub>3</sub>: Perlakuan 15 hari pemaparan  
 P<sub>4</sub>: Perlakuan 18 hari pemaparan  
 (\*): nilai signifikansi

**Tabel 8.** Uji post hoc terhadap daya serap logam berat Cu tumbuhan melati air

Perlakuan	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
P <sub>1</sub>	0.000*	-	-	-
P <sub>2</sub>	-	0.000*	-	-
P <sub>3</sub>	-	-	1.000	1.000
P <sub>4</sub>	-	-	1.000	1.000

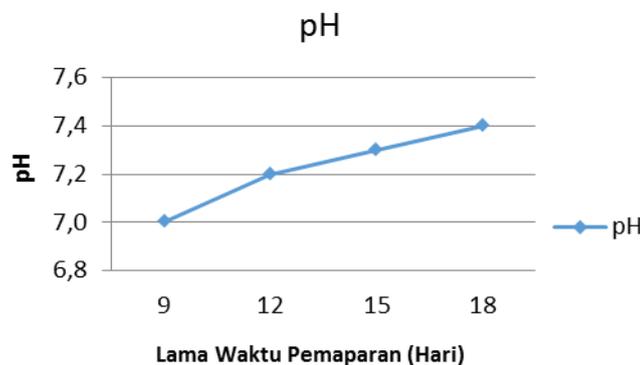
Keterangan: P<sub>1</sub>: Perlakuan 9 hari pemaparan  
 P<sub>2</sub>: Perlakuan 12 hari pemaparan  
 P<sub>3</sub>: Perlakuan 15 hari pemaparan  
 P<sub>4</sub>: Perlakuan 18 hari pemaparan  
 (\*): nilai signifikansi

Berdasarkan hasil uji *One Way Anova* yang menyatakan  $H_a$  diterima yaitu terdapat pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik maka dilakukan uji pembeda yakni post hoc test sebagai uji lanjutannya. Pada uji *post hoc Bonferroni* yang telah dilakukan seperti dalam Tabel 7 maka dari data tersebut diketahui bahwa pada penurunan logam berat Pb disetiap perlakuan lama waktu pemaparan memiliki perbedaan nyata dengan nilai signifikansi ( $p\text{-value} = 0,000 < 0,05$ ). Lama waktu pemaparan optimal logam berat Pb dan Cu berdasarkan data mean difference adalah tepat pada hari ke-18 (P<sub>4</sub>) dengan nilai signifikansi ( $p\text{-value}=0,000 < 0,05$ ), dimana pada lama waktu tersebut tingkat daya serap tumbuhan dinilai paling tinggi dan  $H_0$  dinyatakan ditolak. Namun pada Tabel 8 hasil uji post hoc diketahui terdapat dua data mean difference logam berat Cu menyatakan bahwa pada hari ke-15 (P<sub>3</sub>) dan 18 (P<sub>4</sub>) lama waktu pemaparan memiliki

tingkat daya serap yang rendah. Hal ini disebabkan nilai  $p\text{-value} > 0,05$  yang muncul yakni bernilai signifikansi  $p\text{-value} = 1,000$  maka  $H_0$  diterima yang berarti tidak ada perbedaan nyata lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Cu. Hal tersebut juga diperkuat pada pengukuran laju penyerapan logam berat di hari ke-15 pemaparan tumbuhan mengalami titik jenuh penyerapan, dimana partikel-partikel logam berat yang telah terserap akan dilepaskan kembali ke dalam media tumbuh sehingga kandungan logam berat dalam akar pada hari ke-18 pemaparan mengalami penurunan (Fauziyah & Rosariawari, 2020).

### pH atau Derajat Keasaman

pH atau derajat keasaman merupakan salah satu komponen penting dalam parameter kualitas air terlebih lagi pada air limbah batik yang dinilai dapat mempengaruhi oksigen terlarut dalam air serta kadar zat-zat organik didalamnya. Pada umumnya pH yang bersifat optimal atau baik bagi pertumbuhan biota air yakni pH netral dengan kisaran nilai 6,7-8,5. Nilai tersebut dianggap sebagai kisaran penyerapan senyawa-senyawa yang cukup baik oleh tumbuhan pada media tanam (Siswandari *et al.*, 2016). Pengamatan pH dilakukan setiap lama waktu pemaparan yang telah ditentukan yakni 9, 12, 15, dan 18 hari. Grafik data nilai pH tersaji pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik pH selama fitoremediasi dengan variasi lama waktu pemaparan

Pengamatan pH juga digunakan sebagai parameter pendukung proses fitoremediasi. Berdasarkan grafik penelitian yang telah dilakukan nilai pH terlihat berbeda-beda di setiap lama waktu pemaparan. Semakin lama waktu pemaparan yang dilakukan maka nilai pH pada penelitian ini mengalami peningkatan ke arah pH netral. Rata-rata ulangan pada nilai pH di hari ke-9 yang terlihat menunjukkan pH 7,0. Sedangkan pada hari ke-12, 15 dan 18 penelitian nilai pH perlahan-lahan naik dengan kisaran nilai berturut-turut 7,2, 7,3, 7,4. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa lama waktu pemaparan mempengaruhi laju kenaikan pH menjadi normal. Sehingga, dalam hal ini tumbuhan melati air dinilai mampu menurunkan logam berat dengan baik. Adapun terjadinya kenaikan pH oleh tumbuhan disebabkan proses fotosintesis yang baik oleh tumbuhan melati air. Peranan hidrogen dan energi serta  $\text{CO}_2$  sebagai bahan fotosintesis akan diubah menjadi  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Sumber ion  $\text{H}^+$  tersebut diperoleh dari limbah cair batik dan udara bebas, dimana saat ion  $\text{H}^+$  yang dibutuhkan pada proses fotosintesis tumbuhan maka pH media tanam mengalami kenaikan (Widya *et al.*, 2015). Adapun nilai awal pH penelitian bersifat basa yang menurun ke arah normal akan berpotensi pada laju kelarutan logam berat yang terserap oleh akar tumbuhan (Basri & Hamzah, 2015).

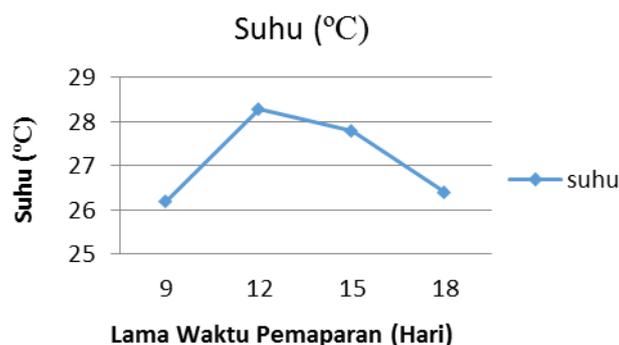
Nilai pH selama proses pengamatan fitoremediasi berkisar 6-7 atau dalam keadaan pH netral dan baik bagi pertumbuhan tanaman yang meskipun kandungan

logam berat Pb dan Cu masih ada. Peranan penting tumbuhan dinilai memberikan hasil baik penelitian dimana tumbuhan melati air mampu menurunkan tingkat pH yang awalnya basa (8-9) menjadi dalam keadaan netral. Selain penyerapan oleh akar, tumbuhan dibantu oleh mikroorganisme disekitar akar yang hidup pada pH mendekati normal untuk berperan dalam menurunkan kadar logam berat. pH basa pada awal pengamatan media tanam akan membentuk suatu pengendapan yang disebabkan oleh mekanisme pembentukan gugus OH<sup>-</sup> dari air limbah yang bereaksi dengan aquades (Wanta *et al.*, 2019).

Selain itu, pH air yang cenderung mengalami peningkatan ke arah normal akan mempengaruhi pengendapan dan penurunan kandungan logam berat dalam air. Menurut Caroline & Guido (2015) kelarutan logam berat Pb akan mempengaruhi nilai pH, dimana selama proses fitoremediasi berlangsung logam Pb tidak akan seutuhnya larut dalam air jika tidak dilakukan pengadukan media dan kebanyakan akan mengendap. Namun dengan naiknya pH akan mempengaruhi toksisitas logam berat Pb dalam organ tumbuhan. Nilai pH dalam media tanam tumbuhan sangat mempengaruhi terjadinya proses biokimiawi. pH netral yang teramati dapat menunjukkan adanya penurunan kadar logam berat dalam media tumbuh serta menurunkan angka toksisitas tumbuhan, sehingga akan berdampak baik pada kelangsungan hidup biota didalamnya (Juhri, 2017). Menurut pernyataan Novandi *et al.* (2014) adanya penambahan pupuk NPK cair ke dalam media tanam diduga dapat meningkatkan nilai pH pada air.

### Suhu

Jika suhu yang ada tidak stabil dapat berdampak pada ketidakseimbangan reaksi kimia dan mikrobiologi (Basri & Hamzah, 2015). Kisaran rata-rata suhu selama penelitian pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik suhu selama fitoremediasi dengan variasi lama waktu pemaparan

Selain pengukuran pH sebagai parameter pendukung proses fitoremediasi pengamatan suhu juga perlu dilakukan. Berdasarkan pengamatan terhadap pengukuran suhu selama waktu pemaparan 18 hari, hasil yang diperoleh tertera pada Gambar 9. Pada awal pengamatan di hari ke-9 diketahui jika rata-rata suhu bernilai 26,2 °C. Namun pada hari ke-12 terjadi peningkatan suhu sebesar 28,3 °C. Sedangkan suhu perlahan-lahan menurun di hari ke-15 dan 18 penelitian berturut turut sebesar 27,8 °C dan 26,4 °C. Terjadinya fluktuasi suhu selama penelitian yang dilakukan di laboratorium diduga disebabkan oleh kurangnya sinar matahari yang masuk dan suhu umum laboratoium yang berkisar 25 °C -28 °C. Pada umumnya lingkungan laboratorium dikenal sebagai lingkungan tertutup dan intensitas cahaya matahari yang tidak stabil sehingga pemicu terjadinya fluktuasi suhu lingkungan (Anam *et al.*, 2013).

Adapun kenaikan suhu yang terjadi dapat mempengaruhi pengikatan serta penyerapan logam berat dalam akar tumbuhan dan diiringi dengan munculnya pengendapan dibawah wadah. Pengendapan terjadi jika oksigen dalam air sebagai media tanam berkurang akibat peningkatan suhu (Basri & Hamzah, 2015). Menurut pernyataan Oktavia *et al.* (2016) suhu lingkungan penelitian akan mempengaruhi suhu air limbah yang diberikan. Selain itu, adanya peran mikroba dalam proses perombakan logam berat yang pada umumnya berada suhu yang berkisar 25-32 °C. Tingkat penyerapan nutrisi pada proses metabolisme dan fotosintesis tumbuhan dipengaruhi oleh suhu dan akan berdampak pada laju difusi ion-ion logam berat yang bermuatan positif dan masuk ke dalam akar bermuatan negatif, sehingga terjadi proses tarik menarik atau disebut proses penyerapan. Mekanisme kerja fitoremediasi yang dipengaruhi suhu penelitian yakni fitovolatilasi, dimana pada proses tersebut tumbuhan melalui bagian akar menyerap zat-zat kontaminan pada kondisi suhu yang meningkat lalu dihantarkan melewati batas hingga ke daun. Kemudian zat kontaminan diubah menjadi gas tidak berbahaya melalui stomata daun untuk di lepaskan ke atmosfer bebas dalam bentuk uap air. Oleh karena uap air yang dilepaskan maka volume air pada media tanam berkurang (Irawanto, 2010).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa (1) Tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) pada lama waktu pemaparan yang dilakukan yakni 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari memiliki potensi dalam menurunkan kadar logam berat limbah cair batik yaitu Pb berturut-turut sebesar 3,71 ppm, 2,65 ppm, 0,80 ppm dan 0,14 ppm. Pada kandungan logam berat Cu berturut-turut sebesar 4,09 ppm, 2,85 ppm, 0,31 ppm dan 0,26 ppm. (2) Perubahan morfologi melati air yakni tumbuhnya tunas baru 2-3 helai di setiap perlakuan namun bagian batang menjadi agak merunduk pada hari ke-15 dan 18 pemaparan. Pada daun mengalami klorosis dan nekrosis di seluruh perlakuan waktu pemaparan akibat tingginya kadar logam berat Pb dan Cu. (3) Lama waktu penyerapan optimal logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik Sendang berdasarkan data hasil penelitian laju penyerapan logam berat Pb dan Cu yakni pada hari ke-15 pemaparan logam berat Pb sebesar 0,24 ppm dan Cu sebesar 0,40 ppm.

## REKOMENDASI

Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada rentang waktu pemaparan yang lebih lama dari perlakuan 18 hari untuk mengetahui ambang batas tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap tingkat penyerapan logam berat Pb dan Cu maupun logam berat lainnya dalam limbah cair batik Sendang. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait media tumbuh yang digunakan dengan menggunakan perbandingan aquades dan limbah cair pada berbagai konsentrasi. Apabila menggunakan sampel limbah cair batik di anjurkan melakukan pengenceran pada semua perlakuan media tumbuh dari proses aklimatisasi, *Range Finding Test* (RFT) hingga proses fitoremediasi yang bertujuan untuk kelangsungan hidup tumbuhan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penelitian ini, terutama kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan berharga. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan moral dan materiil selama penelitian ini berlangsung.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anam, M. M., Kurniati, E., & Suharto, B. (2013). Penurunan kandungan logam pb dan cr leachate melalui fitoremediasi bambu air (*Equisetum hyemale*) dan zeolit reduction of pb and cr metals contents of leachate by means of phytoremediation of bambu air (*Equisetum hyemale*) and zeolite. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 1(2), 43–59.
- Anisa, F. (2020). *Analisis Laju dan Daya Serap Tanaman Bambu Air (Equistum hymale L.) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Instrumen AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)*.
- Arisandy, F., Estuningsih, S. P., & Juswandi. (2018). dan Air Asam Tambang Pada Proses Fitoremediasi. *Jurnal Penelitian Sains*, 20(20), 44–49.
- Baroroh, F., Handayanto, E., & Irawanto, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia Molesta* DAN *Pistia Stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica Rapa* Phytoremediation Of Copper (Cu) Contaminated Water Using *Salvinia molesta* and *Pistia stratiotes* and. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 689–700.
- Basri, S., & Hamzah, E. (2015). Studi Eksperimen : Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air. *Higiene*, 1(1), 50–59.
- Caroline, J., & Moa, G. A. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) (*Echinodorus palaefolius*) Pada Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 10(3), 733–744.
- Djo, Y. H. W., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., Dwijani, W., & Sulihingtyas. (2017). Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Menurunkan COD Dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia*, 5(2), 137–144.
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). Analisis Kualitas Air Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan Di Wilayah Provinsi Dki Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), 127–133. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.127-133>
- Elawati, Kandowanko, N. Y., & Lamondo, D. (2018). Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) Oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forks) Dengan Waktu Kontak Yang Berbeda. 2018, 6(2), 162–166.
- Fauziyah, F. A., & Rosariawari, F. (2020). Penyisihan Logam Terlarut Cr Pada Limbah Batik Secara Fitoremediasi Dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air. *Prosiding ESEC*, 9–15.
- Irawanto, R. (2010). Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali. *Local Wisdom : Jurnal Ilmiah Kajian Kearifan Lokal*, 2(4), 29–35.
- Juhri, D. A. (2017). Pengaruh Logam Berat (Kadmium, Kromium, dan Timbal) Terhadap Penurunan Berat Basah Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) Sebagai Bahan Penyuluhan Bagi Petani Sayur. *Jurnal Lentera Pendidikan Pusat Penelitian LPPM UM Metro*, 2(2), 219–229.
- Katipana, D. D. (2015). Uji Kandungan Logam Berat Timbal ( Pb ) Pada Kangkung Air (*Ipomea aqutica* F.) di Kampus Unpatti Poka. *Biopendix*, 1(2), 153–159.
- Kurniawati, H. Y., Karyanto, A., & Rugayah. (2015). Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair dan Dosis Pupuk NPK (15 : 15 : 15) Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(1), 30–35.
- Novita, Yuliani, & Purnomo, T. (2021). Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar

- Klorofil *Elodea canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas. *LenteraBio*, 1(1), 1–8.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I., & Shobron, S. (2018). Kerusakan Lingkungan Dalam Al-Qur'an. *Suhuf*, 30(2), 194–220.
- Oktavia, Z., Budiyo, & Dewanti Nikie Astorina Yunita. (2016). *Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) Terhadap Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Home Industry Batik "X" Magelang*. 4(July), 1–23.
- Perwitasari, P., Handayanto, E., & Rindyastuti, R. (2018). Penggunaan *Echinodorus Radicans* Dan *Pistia Stratiotes* Untuk Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Serta Pengaruhnya Terhadap Tanaman *Amaranthus tricolor* The Use of *Echinodorus radicans* and *Pistia stratiotes* for Phytoremediation of Pb contaminated water a. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 2549–9793.
- Renngiwur, J., Lasaiba, I., & Mahulauw, A. (2016). Analisis Kualitas Air yang Di Konsumsi Warga Desa Batu Merah Kota Ambon. *Jurnal Biology Science Dan Education*, 5(1), 84–92.
- Rizkiaditama, D., Purwanti, E., & Muizzudin. (2017). Analisis Kadar Klorofil Pada Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) Di Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP) NGORO MOJOKERTO Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Prosiding Seminar Nasional III Tahun 2017, April*, 287–293.
- Rodin, D. (2017). Alquran dan Konservasi Lingkungan: Telaah Ayat-Ayat Ekologis. *Al-Tahrir: Jurnal Pemikiran Islam*, 17(2), 391. <https://doi.org/10.21154/altahrir.v17i2.1035>
- Rompegading, A. B., Sartika, D., Sengka, R., Syamsuddin, N., Resky, A. W., Resky, M., Rahmat, M. F., Lestari, A., Asriana, Fadryansah, M., Arifuddin, A., Afdal, M., & Irfandi, R. (2021). Pengujian Awal Potensi Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dalam Pemanfaatannya Sebagai Fitoremediasi Terhadap Tanah yang Tercemar Logam Cu. *Bioedusains: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(2), 251–257.
- Santriyana, D. D. (2013). Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) Yang Ditumbuhkan Pada Limbah Ipa Pdam Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v1i1.3655>
- Wibowo, P. D. (2014). Penyisihan Logam Pada Lindi Dengan Sistem Sub-Surface Constructed Wetland. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v2i1.7254>
- Widya, C., Zaman, B., & Syafrudin. (2015). Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod, Cod Dan Warna Charisma Widya; Badrus Zaman; Syafrudin. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 1–8.
- Widyawati, M. E., & Kuntjoro, S. (2021). Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo Analysis of Lead (Pb) Heavy Metal Levels in Water Plants in Buntung River Sidoarjo Regency. *LenteraBio*, 10(1), 77–85.