

Efektivitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dalam Menurunkan Ion Logam Berat Cd pada Limbah Batik

Adisty Regina Tamandita^{1*}, Raden Kokoh Haryo Putro²

^{1,2}*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya 60924, Jawa Timur, Indonesia*

**Email: adistyregina@gmail.com*

Abstrak

*Peningkatan jumlah industri batik di Indonesia menyebabkan meningkatnya volume limbah cair yang mengandung logam berat kadmium (Cd), yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan organisme akuatik serta kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam menurunkan kadar Cd pada limbah cair batik melalui proses fitoremediasi berbasis sistem constructed wetland. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kerapatan tanaman (sedang dan tinggi) serta waktu tinggal (5, 10, 15, dan 20 hari). Parameter yang diamati meliputi penurunan kadar Cd serta perubahan morfologi tanaman, seperti panjang akar, tinggi tanaman, dan jumlah daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar Cd yang signifikan seiring dengan meningkatnya kerapatan tanaman dan waktu tinggal. Efektivitas penurunan tertinggi diperoleh pada perlakuan kerapatan tinggi dengan waktu tinggal 20 hari. Selain itu, perubahan morfologi tanaman mengindikasikan adanya respons adaptif terhadap paparan logam berat sekaligus menunjukkan kemampuan akumulasi Cd oleh tanaman. Sistem constructed wetland yang dikombinasikan dengan melati air terbukti efektif dalam mengurangi kandungan Cd dalam limbah cair batik. Dengan demikian, melati air berpotensi sebagai agen fitoremediasi yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat.*

Kata kunci: *constructed wetland, fitoremediasi, kerapatan tanaman, logam berat, waktu tinggal*

PENDAHULUAN

Industri batik di Indonesia merupakan salah satu sektor ekonomi kreatif yang terus mengalami perkembangan signifikan seiring dengan meningkatnya permintaan pasar, baik di tingkat nasional maupun internasional. Di balik kontribusinya terhadap perekonomian dan pelestarian budaya, aktivitas produksi batik juga menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair tersebut umumnya berasal dari proses pencucian, pewarnaan, dan pelorodan, yang banyak menggunakan bahan kimia sintesis, termasuk zat warna reaktif seperti remazol.

Penggunaan bahan-bahan tersebut menyebabkan limbah yang dihasilkan mengandung berbagai senyawa berbahaya, salah satunya adalah logam berat kadmium (Cd). Kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik, *non-biodegradable*, serta memiliki kemampuan untuk terakumulasi dalam organisme hidup (Palar, 2008; Adhani, 2017). Keberadaan Cd dalam perairan dapat menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap ekosistem akuatik, seperti gangguan pertumbuhan organisme, kerusakan jaringan, hingga kematian biota air. Selain itu, Cd juga berpotensi masuk ke dalam rantai makanan melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi, sehingga pada akhirnya dapat membahayakan kesehatan manusia (Muhammad *et al.*, 2014). Paparan Cd dalam jangka panjang diketahui dapat menyebabkan gangguan pada ginjal, hati, sistem saraf, serta meningkatkan risiko penyakit kronis lainnya. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair batik yang mengandung Cd sebelum dibuang ke lingkungan menjadi suatu keharusan. Berbagai metode pengolahan limbah telah dikembangkan untuk mengurangi kandungan logam berat dalam air limbah, seperti metode fisik, kimia, dan biologis (Kohar, dkk., 2004; Razikin, 2015). Metode fisik dan kimia, seperti presipitasi kimia, adsorpsi, dan filtrasi membran, umumnya memiliki efektivitas yang tinggi, namun sering kali memerlukan biaya operasional yang besar serta menghasilkan residu sekunder yang juga berpotensi mencemari lingkungan (Larasati, dkk., 2015). Oleh karena itu, diperlukan alternatif teknologi pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tanaman untuk menyerap, mengakumulasi, atau menstabilkan polutan dari lingkungan.

Fitoremediasi merupakan metode berbasis biologis yang memanfaatkan kemampuan alami tanaman dalam berinteraksi dengan polutan melalui sistem perakaran. Tanaman yang digunakan dalam proses ini umumnya memiliki karakteristik tertentu, seperti kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang tercemar, sistem perakaran yang luas, serta kemampuan menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam jaringan tubuhnya. Selain itu, metode ini relatif sederhana dalam penerapannya, memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional, serta tidak menghasilkan limbah sekunder yang berbahaya (Musthafidah, 2016; Patandangan, dkk., 2016). Salah satu tanaman yang berpotensi digunakan dalam fitoremediasi adalah melati air (*Echinodorus palaefolius*). Tanaman ini merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran yang panjang dan lebat, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi yang intensif antara akar dengan media air yang tercemar. Melati air juga dikenal memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan perairan, termasuk variasi pH, suhu, dan kandungan nutrient (Fatimah, 2009; Suci & Heddy, 2018). Karakteristik tersebut menjadikan melati air sebagai kandidat potensial dalam menyerap logam berat, termasuk Cd, dari limbah cair. Selain kemampuan dalam menyerap logam berat, pertumbuhan morfologi melati air selama proses fitoremediasi juga dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan penyerapan polutan. Perubahan pada parameter pertumbuhan, seperti panjang akar, tinggi tanaman, dan jumlah daun, mencerminkan respons adaptif tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tercemar (Irsyad, dkk., 2014). Dengan demikian, analisis terhadap parameter morfologi tidak hanya memberikan informasi mengenai kondisi fisiologis tanaman, tetapi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas proses fitoremediasi yang berlangsung.

Dalam implementasinya, fitoremediasi sering dikombinasikan dengan sistem *constructed wetland* atau lahan basah buatan, yang dirancang untuk meniru proses alami dalam ekosistem lahan basah. Sistem ini memanfaatkan interaksi antara tanaman, media substrat, dan mikroorganisme untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Penggunaan sistem *constructed wetland* memungkinkan peningkatan waktu kontak antara limbah dan tanaman, sehingga proses penyerapan logam berat dapat berlangsung lebih optimal. Selain itu, faktor-faktor seperti kerapatan tanaman dan waktu tinggal limbah dalam sistem juga berperan penting dalam menentukan efektivitas penurunan kadar polutan (Widyati, 2011; Sari, dkk., 2019). Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi tanaman air dalam proses fitoremediasi, kajian mengenai efektivitas melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam menurunkan kadar Cd pada limbah cair batik, khususnya dengan variasi kerapatan tanaman dan waktu

tinggal dalam sistem *constructed wetland*, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan guna mengevaluasi kinerja tanaman tersebut dalam kondisi yang lebih terkontrol dan aplikatif. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam menurunkan kadar Cd pada limbah cair batik melalui pendekatan fitoremediasi berbasis sistem *constructed wetland*, dengan mempertimbangkan pengaruh kerapatan tanaman dan waktu tinggal terhadap efisiensi penyerapan logam berat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan, serta menjadi alternatif solusi yang aplikatif dalam pengelolaan limbah industri batik di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Uji Awal

Penelitian ini menggunakan sistem *constructed wetland* dengan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) sebagai agen fitoremediasi. Sampel limbah cair batik diambil dari Kampung Batik X, Surabaya, kemudian dilakukan uji awal untuk mengetahui konsentrasi kadmium (Cd) sebelum perlakuan. Sebelum digunakan dalam percobaan utama, tanaman melati air melalui tahap aklimatisasi selama lima hari untuk beradaptasi dengan media limbah. Percobaan dilakukan dengan dua variasi kerapatan tanam, yaitu kerapatan sedang (4 tanaman per reaktor) dan kerapatan tinggi (6 tanaman per reaktor). Media reaktor berupa box plastik berkapasitas 15 liter diisi dengan air limbah sebanyak 10 liter. Proses fitoremediasi berlangsung selama 20 hari, dengan pengambilan data pada hari ke-5, 10, 15, dan 20. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi Cd pada inlet dan outlet, serta perubahan morfologi tanaman yang mencakup tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menghitung efisiensi penurunan Cd, kemudian dilakukan uji statistik menggunakan ANOVA dua arah tanpa replikasi guna mengetahui pengaruh kerapatan dan waktu tinggal terhadap efektivitas penyerapan logam berat Cd oleh tanaman melati air.

Karakteristik Limbah

Dilakukan uji awal untuk mengukur kadar kadmium dalam sampel limbah. Hasil pengukuran awal ini, yang ditampilkan pada Tabel 1, memberikan gambaran tingkat pencemaran limbah batik sebelum melalui proses pengolahan menggunakan tanaman melati air.

Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Cair Batik

| Parameter | Satuan | Hasil Uji |
|------------------|---------------|------------------|
| Cd | mg/L | 8,4 |
| pH | - | 7 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Morfologi Tanaman

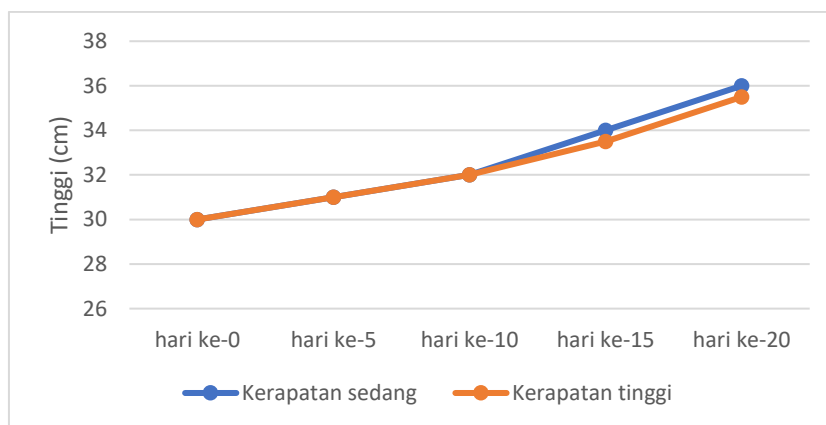
Berdasarkan hasil pengamatan selama 20 hari, tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) menunjukkan pertumbuhan morfologi yang positif pada seluruh parameter yang diukur, baik pada kerapatan sedang (4 tanaman) maupun kerapatan tinggi (6 tanaman). Tinggi tanaman pada kerapatan sedang meningkat dari 30 cm pada hari ke-0 menjadi 36 cm pada hari ke-20, sedangkan pada kerapatan tinggi meningkat dari 32 cm menjadi 35 cm. Jumlah daun pada kedua kerapatan bertambah dari 6 menjadi 7 helai, sementara panjang akar mengalami peningkatan signifikan dari 25 cm menjadi 35 cm. Pertumbuhan panjang akar yang konsisten dan signifikan menunjukkan kemampuan melati air untuk beradaptasi dengan kondisi limbah batik yang mengandung kadmium. Akar yang panjang dan lebat memberikan luas permukaan kontak yang lebih besar dengan media air, sehingga memperbesar peluang penyerapan ion Cd. Hal ini sejalan dengan pendapat Mahmudha, dkk., (2025) yang menyatakan bahwa

sistem akar yang ekstensif mampu meningkatkan efektivitas fitoremediasi melalui penyerapan langsung logam berat dari media perairan.

Tabel 2. Pertumbuhan Morfologi Tanaman

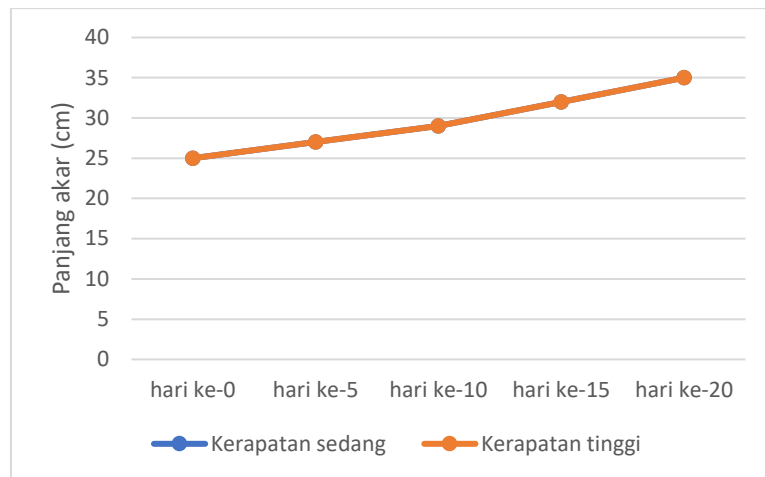
| Reaktor | Waktu Tinggal (hari ke-) | Tinggi (cm) | Daun (helai) | Akar (cm) |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------|--------------|-----------|
| Reaktor I melati air kerapatan 4 | 0 | 30 | 6 | 25 |
| | 5 | 31 | 6 | 27 |
| | 10 | 32 | 6 | 29 |
| | 15 | 34 | 7 | 32 |
| | 20 | 36 | 7 | 35 |
| Reaktor II melati air kerapatan 6 | 0 | 32 | 6 | 25 |
| | 5 | 30 | 6 | 27 |
| | 10 | 31 | 6 | 29 |
| | 15 | 33 | 7 | 32 |
| | 20 | 35 | 7 | 35 |

Selain akar, penambahan jumlah daun menjadi indikator penting keberhasilan adaptasi tanaman. Peningkatan jumlah daun dapat memperbesar kapasitas fotosintesis, menghasilkan energi yang diperlukan untuk pertumbuhan biomassa dan proses metabolisme, termasuk detoksifikasi logam berat di jaringan tanaman (Baroroh, dkk., 2018; Hidrawati, dkk., 2023).



Gambar 1. Grafik Pertambahan Tinggi.

Peningkatan tinggi tanaman juga mencerminkan pertumbuhan biomassa secara keseluruhan, yang menandakan bahwa melati air mampu bertahan dan tumbuh meskipun berada di lingkungan tercemar. Efektivitas penurunan Cd juga dipengaruhi oleh kerapatan tanam dan lama waktu tinggal.




Gambar 2. Grafik Panjang Akar.






Pada kerapatan tinggi, tanaman memiliki total luas permukaan akar yang lebih besar sehingga mampu menyerap lebih banyak Cd, khususnya pada hari ke-20 yang menunjukkan efisiensi penurunan tertinggi. Namun, pada beberapa titik, laju penurunan cenderung melambat, kemungkinan akibat berkurangnya ketersediaan Cd pada media seiring berlangsungnya proses fitoremediasi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat potensi melati air sebagai agen fitoremediasi alami yang efektif untuk menurunkan kandungan kadmium pada limbah cair batik. Kombinasi pertumbuhan akar yang panjang, jumlah daun yang bertambah, dan kemampuan bertahan di lingkungan tercemar menjadi faktor utama yang mendukung keberhasilan proses ini.



Perubahan Morfologi Tanaman

Perubahan morfologi tanaman melati air diamati selama periode penelitian untuk mengevaluasi respons pertumbuhan pada berbagai kondisi reaktor dan waktu pengamatan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Hasil pengamatan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan Morfologi Melati Air pada Berbagai Reaktor dan Waktu Pengamatan

| Hari ke- | Reaktor | Deskripsi | Gambar |
|----------|---|--|---|
| 5 | Reaktor I melati air dengan kerapatan 4 | Pertumbuhan awal moderat dengan peningkatan tinggi 0.7 cm dan panjang akar 1.7 cm. Jumlah daun belum bertambah, menunjukkan alokasi energi pada pertumbuhan vegetatif awal. pH 7,2 (netral) mendukung adaptasi tanaman, yang mulai menunjukkan potensi fitoremediasi |  |

| Hari ke- | Reaktor | Deskripsi | Gambar |
|----------|--|--|---|
| | Reaktor II melati air dengan kerapatan 6 | Pertumbuhan awal ditandai peningkatan tinggi 0.7 cm dan akar 1.9 cm. Daun belum bertambah, menunjukkan fokus pada perakaran. Kerapatan tinggi membatasi pertumbuhan, namun tanaman tetap menunjukkan adaptasi dan potensi fitoremediasi |  |
| 10 | Reaktor I melati air dengan kerapatan 4 | Pertumbuhan stabil dengan peningkatan tinggi 1.6 cm dan akar 2.5 cm. Daun belum bertambah. pH 7.4 (netral) mendukung pertumbuhan, menunjukkan respons adaptif yang positif |  |
| | Reaktor II melati air dengan kerapatan 6 | Pertumbuhan meningkat dengan penambahan tinggi 1.2 cm dan panjang akar 2.1 cm. Jumlah daun belum bertambah, namun perkembangan akar menunjukkan adaptasi yang mulai stabil |  |
| 15 | Reaktor I melati air dengan kerapatan 4 | Pertumbuhan mulai aktif dengan peningkatan tinggi 1.7 cm dan munculnya satu daun baru, menunjukkan transisi ke fase vegetatif. Panjang akar bertambah 2.8 cm, mengindikasikan peningkatan aktivitas penyerapan. Nilai pH 7.5 tetap mendukung kondisi optimal |  |
| | Reaktor II melati air dengan kerapatan 6 | Pertumbuhan menunjukkan transisi ke fase vegetatif aktif dengan peningkatan tinggi 1.5 cm, munculnya satu daun baru, dan pertambahan panjang akar 2.8 cm. Hal ini mengindikasikan peningkatan aktivitas pertumbuhan dan penyerapan nutrisi |  |

| Hari ke- | Reaktor | Deskripsi | Gambar |
|----------|--|---|---|
| 20 | Reaktor I melati air dengan kerapatan 4 | Pertumbuhan tetap stabil dengan peningkatan tinggi 1.9 cm, munculnya satu daun baru, dan pertambahan panjang akar 3 cm. Nilai pH 7.5 mendukung kondisi optimal. Tanaman menunjukkan respons pertumbuhan yang konsisten dalam proses fitoremediasi |  |
| | Reaktor II melati air dengan kerapatan 6 | Pertumbuhan tertinggi ditunjukkan dengan peningkatan tinggi 2 cm, satu daun baru, dan panjang akar 3.1 cm. Perkembangan akar yang berkelanjutan mengindikasikan aktivitas penyerapan yang optimal dalam proses fitoremediasi. Nilai pH stabil pada 7.2, mendukung kondisi lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman |  |

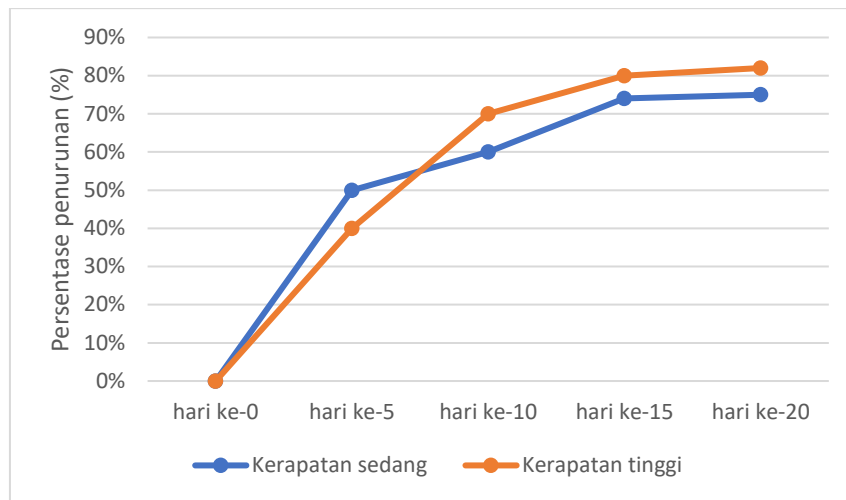
Persentase Penyisihan Cd

Evaluasi efektivitas proses fitoremediasi dilakukan melalui analisis persentase penyisihan Cd pada setiap reaktor selama periode pengamatan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase Penyisihan Cd pada Berbagai Reaktor dan Waktu Pengamatan

| Reaktor | Waktu Tinggal (hari ke-) | Hasil Uji (mg/L) | Persentase Penyisihan Cd (%) |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------|
| Reaktor I melati air kerapatan 4 | 0 | 8.4 | 0 |
| | 5 | 4.2 | 50 |
| | 10 | 1.7 | 60 |
| | 15 | 0.4 | 74 |
| | 20 | 0.10 | 75 |
| Reaktor II melati air kerapatan 6 | 0 | 8.4 | 0 |
| | 5 | 5 | 40 |
| | 10 | 1.5 | 70 |
| | 15 | 0.3 | 80 |
| | 20 | 0.09 | 82 |

Berdasarkan data pada Tabel 3, tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) menunjukkan kemampuan penyerapan ion kadmium (Cd) yang meningkat seiring bertambahnya waktu proses fitoremediasi. Pada kerapatan sedang, persentase penurunan Cd pada hari ke-5 tercatat sebesar 40.74%, kemudian meningkat menjadi 49.07% pada hari ke-10, 54.63% pada hari ke-15, dan mencapai nilai tertinggi 63.89% pada hari ke-20. Sementara itu, pada kerapatan tinggi, penurunan Cd lebih signifikan di setiap periode pengamatan. Pada hari ke-5, efisiensi penurunan mencapai 44.44%, lalu naik menjadi 51.85% pada hari ke-10, meningkat lagi menjadi 59.26% pada hari ke-15, dan mencapai capaian tertinggi sebesar 70.37% pada hari ke-20.



Gambar 3. Persentase Penurunan Cd.

Kecenderungan peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara tanaman dan media limbah, semakin besar peluang akar untuk menyerap ion Cd. Efektivitas yang lebih tinggi pada kerapatan tinggi mengindikasikan bahwa jumlah tanaman yang lebih banyak menghasilkan total biomassa akar yang lebih besar, sehingga memperluas permukaan kontak dengan limbah dan meningkatkan kapasitas serapan. Fenomena ini sejalan dengan prinsip fitoremediasi, di mana kerapatan tanam dan durasi kontak menjadi faktor penting yang memengaruhi efisiensi penurunan polutan (Noviardi & Damanhuri, 2015).

Uji Anova Terhadap Penyisihan Cd

Hasil uji ANOVA dua arah tanpa replikasi pada data penurunan konsentrasi kadmium (Cd) oleh tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) menunjukkan bahwa baik faktor kerapatan tanam maupun lama waktu pemaparan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas penyerapan Cd. Nilai signifikansi (p-value) untuk kedua faktor tersebut lebih kecil dari $\alpha = 0.05$, sehingga hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada pengaruh ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kerapatan tanam, kemampuan tanaman dalam menurunkan kadar Cd menjadi lebih besar, diduga karena jumlah total akar yang lebih banyak memberikan luas permukaan serapan yang lebih besar. Selain itu, lama waktu tinggal juga berpengaruh signifikan, di mana penurunan konsentrasi Cd meningkat seiring bertambahnya durasi proses fitoremediasi. Hal ini sejalan dengan pola pertumbuhan morfologi tanaman yang menunjukkan perkembangan akar, batang, dan daun selama periode penelitian, yang pada akhirnya meningkatkan kapasitas serapan logam berat. Interaksi antara kerapatan dan waktu juga terlihat berperan, di mana kombinasi kerapatan tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama menghasilkan persentase penurunan Cd paling optimal. Hasil ini mendukung teori bahwa efisiensi fitoremediasi dipengaruhi oleh sinergi antara jumlah tanaman dan durasi kontak dengan media tercemar (Palar, 2008; Adhani, 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, melati air (*Echinodorus palaefolius*) efektif dalam menurunkan kadar Cd pada limbah cair batik melalui sistem fitoremediasi berbasis *constructed wetland*. Efisiensi penyisihan Cd meningkat seiring bertambahnya waktu tinggal, dengan nilai tertinggi pada hari ke-20. Kerapatan tanaman berpengaruh terhadap efektivitas fitoremediasi, di mana kerapatan tinggi menunjukkan penyisihan Cd yang lebih besar. Perubahan morfologi tanaman, seperti penambahan akar, tinggi, dan jumlah daun, mengindikasikan kemampuan adaptasi yang baik terhadap lingkungan tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, H., 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbit Unlam. Lambung Mangkurat University Press.
- Baroroh, F., Handayanto, E., dan Irawanto, R., 2018. *Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa**. JTSL (Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan). 5(1): 789-100.
- Fatimah, S., 2009. *Studi Kadar Klorofil dan Zat Besi (Fe) pada Beberapa Jenis Bayam terhadap Jumlah Eritrosit Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Anemia*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Malang.
- Hidrawati, Syam, N., dan Ayu, N., 2023. *Fitoremediasi Timbal (Pb) pada Air Tercemar Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Apu-Apu (*Pistia stratiotes*)*. Jurnal Agrotek. 7(2): 205-214.
- Irsyad, M., Sikanna, R., dan Musafira. 2014. *Translokasi Merkuri pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus spinosus L.*) dari tanah tercemar*. Journal of Natural Science.3(1): 8-17.
- Kohar, I., Hardjo, P. H., Jonatan, M., dan Agustanti, O., 2004. *Studi Kandungan Logam Pb dalam Batang dan Daun Kangkung (*Ipomoea reptans*) yang direbus dengan Penambahan NaCl dan Asam Asetat*. Makara Sains. 8(3): 85-88.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D., dan Suharto, B., 2015. *Efektivitas Adsorpsi Logam Berat pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di TPA Tlekung, Batu*. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 2(1): 44-48.
- Noviardi, R., dan Damanhuri, T. P., 2015. *Penyerapan Logam Timbal (Pb) pada Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) dengan Variasi Penambahan Kompos dan Limbah Batubara pada Media Tanah*. Ecolab. 9(2): 60-71.
- Mahmudha, S., Nugraha, F., Idris, M., Masriah, I., dan Lestari, D., 2025. *Fitoremediasi In Vitro Logam Pb dan Cu Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*): Strategi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*. Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi. 4(3): 502-511. DOI: <https://doi.org/10.55123/insologi.v4i3.5459>.
- Muhammad, I., Ashiru, S., Ibrahim, D.I., Salawu, K., Muhammad T. D., Muhammad, A. N., 2014. *Determination of Some Heavy Metals in Wastewater and Sediment of Artisanal Gold Local Mining Site of Abare Area in Nigeria*. Jurnal Environmental. 1(3):174–182.
- Musthafidah, Z., 2016. *Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Logam Tembaga (Cu) menggunakan Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*)*. Skripsi. Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Suska Riau. Pekanbaru.
- Palar, H., 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta, Bandung.
- Patandangan, A., H. S. Syamsidar, dan Aisyah. 2016. *Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar*. Jurnal Al-Kimia. 4(2): 8–21. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v4i2.1676>.
- Razikin, R. H., 2015. *Uji Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) sebagai Agen Fitoremediasi pada Tanah Tercemar Logam Pb dan Cd*. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Jember. Jember.
- Sari, N. E. P., Nurlela, N., dan Wardoyo, S. E., 2019. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Cd dengan Menggunakan Tanaman Hajuang (*Cordyline fruticosa*)*. Jurnal Sains Natural. 9(2): 57-65. DOI: <https://doi.org/10.31938/jsn.v9i2.230>.
- Suci, C. W., dan Heddy, S., 2018. *Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Keragaan Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum*)*. Jurnal Produksi Tanaman. 6(1): 161–169.
- Widyati, E., 2011. *Growth Optimization of *Acacia crasicarpa* Cunn . Ex Benth . on ex-coal Mining Site by Soil Amelioration*. Jurnal Penelitian Hutan Tanaman. 8(1): 19–30.