

Pengaruh Paparan *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan Logam Berat Tembaga (Cu) terhadap Pertumbuhan *Sagittaria lancifolia*

The Effect of Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) and Heavy Metal Copper (Cu) Exposure on *Sagittaria Lancifolia* Growth

Salsa Nabila¹, Risa Purnamasari^{1*}, Eva Agustina¹, Rony Irawanto²

¹Program Studi Biologi, FST, UIN Sunan Ampel Surabaya, Jl. Ahmad Yani No.117 Jemur Wonosari, Surabaya, Jawa Timur, 60237, Indonesia

²Pusat Penelitian Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Raya Surabaya-Malang, Km. 65, Purwodadi, Pasuruan, Jawa Timur, 67163 Indonesia

*corresponding author: risapurnamasari@uinsby.ac.id

ABSTRAK

Berbagai jenis limbah dapat menyebabkan pencemaran perairan, termasuk limbah domestik yang mengandung surfaktan LAS (*Linear alkylbenzene sulfonate*) dan limbah industri yang mengandung logam berat seperti tembaga (Cu). Kadar pencemar yang tinggi dapat mempengaruhi metabolisme dan menyebabkan kematian pada organisme. Salah satu solusi untuk mengatasi pencemaran ini adalah dengan fitoremediasi, di mana tanaman *Sagittaria lancifolia* digunakan untuk menyerap pencemar LAS dan logam Cu. Namun, respon pertumbuhan tanaman ini terhadap pencemaran LAS dan logam Cu belum diketahui dengan detail. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui adanya paparan LAS dan logam Cu terhadap respon pertumbuhan tanaman *Sagittaria lancifolia*. Penelitian ini dilakukan di Kebun Raya Purwodadi pada bulan Oktober sampai September 2022. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan, di mana setiap perlakuan memiliki konsentrasi pencemar yang berbeda, yaitu 0 ppm (kontrol), LAS 10 ppm + Cu 3 ppm, LAS 30 ppm + Cu 3 ppm, dan LAS 50 ppm + Cu 3 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan LAS dan logam Cu pada konsentrasi yang berbeda tidak memiliki efek signifikan terhadap pertumbuhan dan morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia*. Oleh karena itu, tanaman tersebut memiliki potensi sebagai opsi untuk fitoremediasi perairan yang tercemar oleh LAS dan logam Cu.

Kata Kunci: Fitoremediasi; *Linier Alkylbenzene Sulfonates*; *Sagittaria lancifolia*; tembaga (Cu).

ABSTRACT

Various types of waste can cause water pollution, including domestic waste containing LAS (Linear alkylbenzene sulfonate) surfactants and industrial waste containing heavy metals such as copper (Cu). High levels of pollutants can affect metabolism and cause death in organisms. One solution to overcome this pollution is phytoremediation, where *Sagittaria lancifolia* are used to absorb LAS and copper pollutants. However, the growth response of this plant to LAS and copper pollution is not yet well understood. Therefore, this study aims to evaluate the effect of LAS and copper exposure on the growth of *Sagittaria lancifolia*. This study was carried out in Purwodadi Botanical Garden at September-October 2022. This study used a Completely Randomized Design (CRD) method with 4 treatments and 3 replications, where each treatment had different pollutant concentrations, namely 0 ppm (control), LAS 10 ppm + Cu 3 ppm, LAS 30 ppm + Cu 3 ppm, and LAS 50 ppm + Cu 3 ppm. The results showed that LAS and copper exposure at each concentration did not affect the growth and morphological condition of *Sagittaria lancifolia*. Therefore, this plant can be used as an option for phytoremediation of water polluted by LAS and copper.

Keywords: Copper (Cu); *Linier Alkylbenzene Sulfonates*; phytoremediation; *Sagittaria lancifolia*.

Manuskrip disubmisi pada 04-04-2023;
disetujui pada 30-05-2023.

PENDAHULUAN

Kawasan perairan termasuk salah satu lingkungan yang sangat rentan terhadap pencemaran (Afifudin & Irawanto, 2021). Salah satu jenis pencemar yang sering ditemukan pada perairan adalah limbah domestik berupa deterjen yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga (Wirawan, 2019). Kandungan surfaktan pada deterjen menjadi penyebab utama pencemaran air, terutama jenis surfaktan anionik yang disebut *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS), yang merupakan komponen utama deterjen rumah tangga dengan persentase 15-40% (Fatikasari et al., 2022; Puspitasari et al., 2013). LAS dapat terurai dengan baik pada keadaan aerob sebanyak 50% dalam waktu 9 hari, tetapi tidak dapat terurai pada kondisi anaerob karena terdapat rantai alifatik yang tidak dapat tereduksi lebih lanjut (Purnamasari, 2014). Dalam kadar melebihi 1%, kandungan LAS dapat menyebabkan iritasi, kerusakan kulit, dan kehilangan kelembapan alami permukaan kulit (Fatikasari et al., 2022). Selain itu, terakumulasi nya LAS pada tubuh dapat mengganggu dan merusak jaringan dan sel (Otzen, 2011).

Selain deterjen dari rumah tangga, perairan juga sering tercemar oleh logam berat yang bersifat anorganik. Logam berat tersebut umumnya sulit terurai dan bersifat toksik (Yalcin et al., 2008). Salah satu contohnya adalah tembaga (Cu), yang sering ditemukan mencemari lingkungan perairan. Penggunaan tembaga dalam berbagai industri seperti manufaktur, tekstil, dan elektroplating, menjadi penyebab utama pencemaran tersebut (Hasanah, 2020). Apabila kadar Cu melebihi batas yang diizinkan dan terakumulasi dalam tubuh organisme, maka dapat menyebabkan keracunan bahkan kematian (Adhani & Husaini, 2017). Untuk itu, perlu dilakukan langkah masif untuk menanggulangi permasalahan pencemaran air, khususnya yang tercemar oleh deterjen dan logam berat.

Saat ini telah banyak cara atau metode yang diaplikasikan untuk menanggulangi masalah pencemaran air, seperti diantaranya mekanisme fisik, kimia, maupun biologi. Pada mekanisme biologi, metode yang paling efektif digunakan ialah dengan menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan pencemar dalam air, atau biasa disebut fitoremediasi. Metode ini mudah diterapkan, ramah lingkungan, dan biayanya tidak mahal (Afifudin et al., 2022). Selain itu, fitoremediasi dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran organik maupun anorganik (Soheti et al., 2020). Lebih lanjut, salah satu tanaman yang terbukti efektif dalam meremediasi polutan adalah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*). *Sagittaria lancifolia* merupakan salah satu jenis tanaman hias yang dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Sehingga tanaman ini dilaporkan efektif megakumulasikan polutan dalam air seperti deterjen dan logam berat (Afifudin & Irawanto, 2022; Fitrihidajati et al., 2019).

Namun, pada penelitian tersebut tidak membahas adanya respon tanaman pada saat meremediasi LAS yang telah dikontaminasi dengan logam Cu. Sementara itu, pengamatan respon pertumbuhan tanaman sangatlah diperlukan. Hal ini disebabkan ketika tanaman terpapar suatu kontaminan pada kadar yang tinggi, biasanya tanaman tersebut akan menunjukkan respon perubahan pada fisik tanaman (Afifudin et al., 2022). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati respon pertumbuhan yang ditunjukkan *Sagittaria lancifolia* saat terpapar LAS dan Cu. Penelitian ini perlu dilakukan karena dengan mengetahui respon tanaman terhadap cemaran ini, dapat membantu dalam pengembangan metode fitoremediasi yang lebih efektif dan efisien, serta membantu dalam pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di *green house* dan laboratorium Kebun Raya Purwodadi, Pasuruan pada September-Oktober 2022. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang digunakan didasarkan pada variasi konsentrasi LAS.

- P0 : 0 ppm (kontrol)
- P1 : LAS 30 ppm + Cu 3 ppm
- P2 : LAS 50 ppm + Cu 3 ppm
- P3 : LAS 50 ppm + Cu 3 ppm

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah: (a) jumlah daun (b) biomassa tanaman (berat basah dan berat kering tanaman) dan (c) respon morfologi tanaman. Tahapan dalam penelitian ini meliputi aklimatisasi, pembuatan larutan, pengamatan fitoremediasi, dan analisis data.

Aklimatisasi

Sagittaria lancifolia dengan ukuran sekitar 45 cm diambil dari koleksi Kebun Raya Purwodadi. Setelah itu, tanaman didiamkan selama dua minggu didalam rumah kaca. Pada tahap awal aklimatisasi, dilakukan penambahan pupuk NPK 16:16:16 dengan konsentrasi 1 g/L. Proses aklimatisasi bertujuan untuk membantu tanaman agar dapat beradaptasi pada lingkungan yang baru (Afifudin & Irawanto, 2021).

Pembuatan larutan kerja

Larutan kerja dengan beberapa variasi konsentrasi LAS dan Cu dibuat sesuai dengan perlakuan. Pada perlakuan P0 dilakukan tanpa menambahkan larutan pencemar, kemudian pada

P1 dilakukan pembuatan 10 ppm LAS dan 3 ppm Cu, selanjutnya pada P2 dilakukan pembuatan 30 ppm LAS dan 3 ppm Cu, dan pada P3 dilakukan pembuatan 50 ppm LAS dan 3 ppm Cu. Adapun larutan induk yang digunakan yakni LAS 100% dan CuSO₄ konsentrasi 1000 ppm. Pembuatan larutan kerja dilakukan berdasarkan persamaan berikut.

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Keterangan:

M1 : konsentrasi larutan awal

M2 : konsentrasi larutan yang diinginkan

V1 : volume air awal

V2 : volume air setelah pengenceran

Pengamatan fitoremediasi

Setelah proses aklimatisasi selama dua minggu, kemudian dilanjutkan ke tahap fitoremediasi. *Sagittaria lancifolia* diletakkan pada wadah atau rekator yang berisikan LAS dan logam Cu sesuai perlakuan. Selanjutnya, ditambahkan air sebanyak 3 L sebagai media pertumbuhan tanaman. Pengamatan parameter jumlah daun dilakukan sekali dalam setiap minggu dengan mengamati dan menghitung daun yang telah terbuka sempurna. Pengamatan parameter biomassa tanaman dilakukan pada minggu ke-4. Berat basah tanaman ditimbang langsung pasca panen, sedangkan berat kering ditimbang setelah pengeringan dengan oven pada suhu 100°C selama ± 2 hari. Perhitungan biomassa tanaman dengan persamaan berikut.

$$BM (\%) = ((A - B) / A) \times 100$$

Keterangan:

A : berat basah tanaman (g)

B : berat kering tanaman (g)

Sedangkan untuk parameter perubahan morfologi dilakukan sekali pada setiap minggunya dengan mengamati seluruh bagian tanaman seperti perubahan warna, struktur, bentuk maupun kelainan fisik atau morfologi pada tanaman.

Analisis data

Analisis data untuk parameter jumlah daun dan perubahan morfologi tanaman dilakukan secara deskriptif. Sedangkan pada parameter biomassa tanaman, data dianalisis dengan uji Kruskal Wallis menggunakan SPSS. Penggunaan uji ini karena setelah dilakukan uji prasyarat berupa uji normalitas dan homogenitas, data tidak terdistribusi normal dan tidak homogen. Adapun tujuan dari uji non-parametrik Kruskal Wallis adalah untuk menentukan apakah terdapat pengaruh pada setiap perlakuan terhadap parameter yang diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tanaman terpapar oleh kontaminan pada kadar yang tinggi, biasanya akan menunjukkan respon seperti berubahnya morfologi dan fisiologi tanaman tersebut (Afifudin & Irawanto, 2021). Beberapa parameter yang relevan untuk pengamatan pertumbuhan tanaman adalah jumlah daun, perubahan morfologi tanaman, serta biomassa tanaman termasuk berat basah dan berat kering. Jumlah daun adalah salah satu parameter penting dalam mengetahui perubahan pertumbuhan tanaman karena berperan pada sintesis makanan untuk proses metabolisme tanaman (Ardiansyah, 2017). Hasil pengamatan jumlah daun disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jumlah rata-rata daun

Variasi Konsentrasi	Jumlah Daun Tanaman	
	Hari ke-1	Hari ke-28
Kontrol	3	7
LAS 10 ppm + Cu 3 ppm	3	6
LAS 30 ppm + Cu 3 ppm	4	6
LAS 50 ppm + Cu 3 ppm	3	5

Jumlah rata-rata daun *Sagittaria lancifolia* mengalami penambahan antara 2 hingga 4 helai selama 28 hari. Penambahan daun tertinggi adalah pada variasi control yakni sebanyak 4 helai, sementara penambahan terendah adalah pada variasi LAS 30 + Cu 3 dan LAS 50 + Cu 3 yakni sebanyak 2 helai daun.

Pada pengukuran biomassa tanaman dilakukan dengan menghitung berat basah dan berat kering tanaman (Lussy et al., 2022). Hal ini dapat menjadi indikator aktivitas metabolisme dan fotosintesis pada tanaman yang digunakan untuk memproduksi sel sehingga dapat mempengaruhi berat basah tanaman (Ardiansyah, 2017). Di sisi lain, berat kering tanaman mencerminkan total biomassa yang telah diserap oleh tanaman serta akumulasi proses asimilasi CO₂ selama pertumbuhan tanaman (Pratiwi et al., 2021).. Berikut hasil pengukuran biomassa *Sagittaria lancifolia* pada Tabel 2.

Tabel 2. Biomassa *Sagittaria lancifolia*

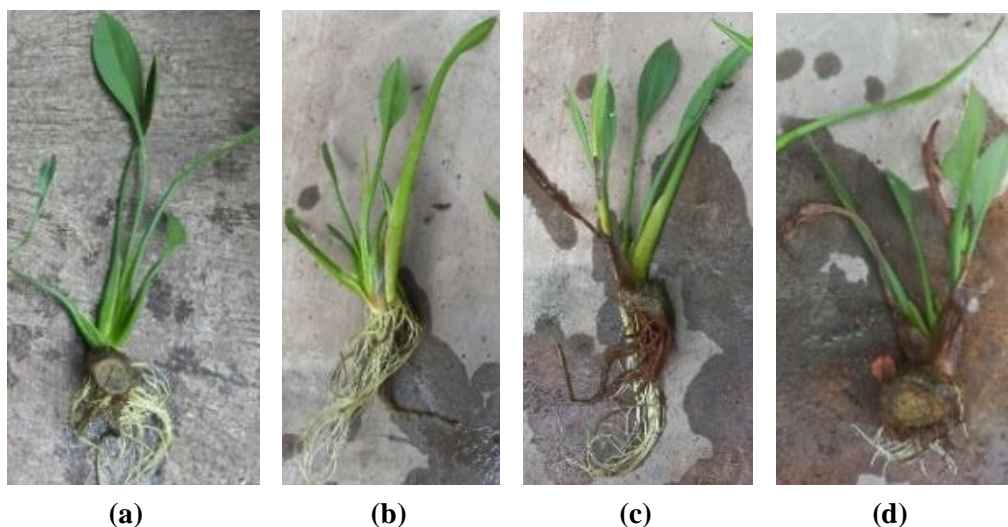
Variasi Konsentrasi	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Produksi Biomassa (%)
Kontrol	35,1	2,15	94%
LAS 10 ppm + Cu 3 ppm	23,4	1,97	92%
LAS 30 ppm + Cu 3 ppm	44,5	5,11	89%
LAS 50 ppm + Cu 3 ppm	64,3	7,69	88%

Biomassa tanaman pada perlakuan kontrol memiliki persentase tertinggi apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya yakni sebesar 94%. Sementara itu perlakuan LAS 50 + Cu 3 menunjukkan presentase biomassa terendah yakni 88%. Oleh karena itu, merujuk pada Tabel 2, bahwa semakin tinggi konsentrasi polutan yang terkandung dalam media, semakin rendah jumlah biomassa *Sagittaria lancifolia*. Hasil uji Kruskal Wallis terhadap biomassa tanaman disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Analisis biomassa tanaman dengan uji Kruskal Wallis

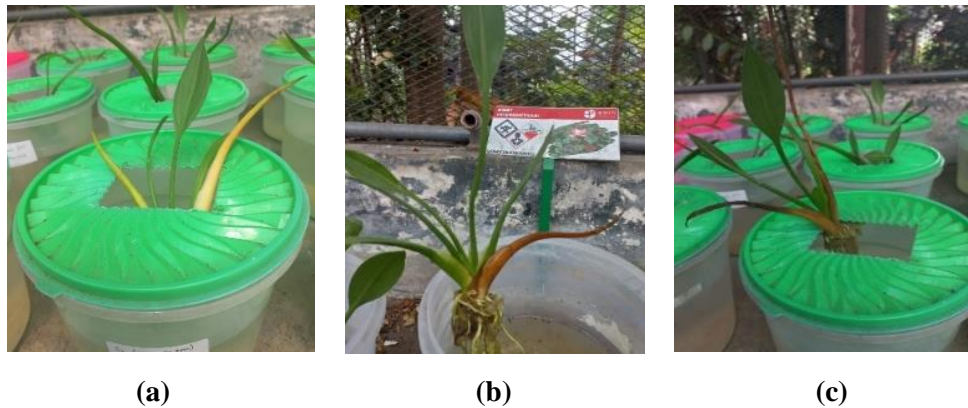
Analisis	Berat Basah	Berat Kering
Kruskal-Wallis H	6.692	7.205
df	3	3
Asymp Sig.	.082	.066

Pengamatan juga dilakukan terhadap perubahan morfologi *Sagittaria lancifolia* untuk mengkaji bagaimana tanaman tersebut beradaptasi terhadap paparan LAS dan logam Cu. Gambar 1 menunjukkan perubahan morfologi *Sagittaria lancifolia* setelah terpapar LAS dan Cu selama 4 minggu atau 28 hari.



Gambar 1. Morfologi *Sagittaria lancifolia* setelah 28 hari: (a) P0; (b) P1; (c) P2; (d) P3.

Gambar 1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan variasi konsentrasi, tidak terdapat perubahan morfologi yang signifikan pada bagian akar dan tajuk tanaman dalam cekaman LAS dan Cu selama 28 hari. Namun pada beberapa perlakuan, daun mengalami kelainan morfologi seperti klorosis, nekrosis, dan kekeringan (Gambar 2).



Gambar 2. Kelainan pada *Sagittaria lancifolia*: (a) Klorosis; (b) nekrosis; (c) daun kering.

Pembahasan

Temuan dari hasil pengamatan pertumbuhan *Sagittaria lancifolia* yang terpapar LAS dan Cu menunjukkan beberapa hal. Pertama, jumlah daun pada tanaman diobservasi untuk mengetahui respons pertumbuhan tanaman terhadap cekaman LAS dan Cu. Jumlah daun menjadi parameter penting dalam evaluasi pertumbuhan tanaman karena dapat menjadi indikator adanya stres pada tanaman akibat cekaman polutan (Ardiansyah, 2017). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada semua perlakuan terjadi penambahan jumlah daun pada tanaman. Namun, semakin tinggi kadar polutan yang diberikan, penambahan jumlah daun semakin sedikit. Hal ini karena semakin tinggi kadar polutan pada media akan bersifat toksik bagi tanaman (Wulandari et al., 2017). Sehingga penambahan jumlah daun juga dapat menjadi indikator bahwa tanaman telah beradaptasi dan mampu bertahan hidup dalam kondisi tersebut.

Kedua adalah mengenai jumlah biomassa *Sagittaria lancifolia*. Biomassa *Sagittaria lancifolia* pada perlakuan kontrol memiliki persentase tertinggi apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya yakni sebesar 94%. Hal tersebut disebabkan karena *Sagittaria lancifolia* dapat tumbuh dengan optimal pada suhu dan pH yang sesuai (Caroline & Guido, 2015). Persentase biomassa tanaman yang dikenai cekaman lebih rendah apabila dibandingkan dengan tanpa cekaman (kontrol). Hasil tersebut menggambarkan bahwa kandungan pencemar yang tinggi dalam media dapat menghambat pertumbuhan dan berpengaruh pada biomassa tanaman (Hardiani, 2008). Lebih lanjut, hasil uji statistika pada pengamatan biomassa tanaman menunjukkan nilai signifikansi pada berat basah sebesar 0,082 dan berat kering sebesar 0,066. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata pada parameter berat basah dan berat kering di tiap-tiap perlakuan.

Selanjutnya mengenai respon pertumbuhan tanaman saat terpapar polutan. Terlihat pada Gambar 1, tanaman tidak mengalami perubahan morfologi secara signifikan baik pada bagian

akar maupun tajuk. Tetapi pada beberapa perlakuan, daun mengalami kelainan morfologi seperti klorosis dan nekrosis serta kekeringan pada daun tanaman. Adapun lebih jelas mengenai adanya kelainan morfologi pada tanaman *Sagittaria lancifolia* selama pengamatan, dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut, tanaman menunjukkan adanya gejala klorosis atau hilangnya klorofil sehingga menyebabkan berubahnya warna daun tanaman. Adanya perubahan warna pada daun dapat dipengaruhi paparan zat kimia. Tak hanya itu, lama waktu paparan juga dapat mempengaruhi perubahan warna daun hingga hilang atau berkurangnya klorofil pada daun (Rizkiaditama et al., 2017).

Dapat dilihat pada Gambar 2, perubahan warna daun dan kelainan morfologi pada tanaman *Sagittaria lancifolia* selama fitoremediasi tidak tersebar rata pada seluruh bagian daun, yakni hanya ditemukan pada pangkal, tengah, tepi maupun ujung. Adanya kondisi tersebut mengindikasikan bahwa tanaman mengalami klorosis. Klorosis adalah suatu perubahan warna organ tanaman menjadi kuning dan pucat yang biasa terjadi pada daun, tajuk, dan batang tanaman (Rizkiaditama et al., 2017). Peristiwa ini diduga akibat terganggunya proses pembentukan klorofil oleh tanaman. Selain klorosis, beberapa daun juga terindikasi mengalami nekrosis. Nekrosis ialah bentuk perubahan struktur dan warna tanaman menjadi kecoklatan hingga kering (Baroroh et al., 2018). Adanya zat pencemar dalam suatu organ tanaman, khususnya logam berat, dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengganggu proses metabolisme di bagian jaringan dan sel sekitar meristem akar dan batang (Rizkiaditama et al., 2017). Lebih lanjut, logam yang terikat dengan asam amino dapat menyebabkan kerja enzim katalase terhambat dan menyebabkan perubahan struktur protein (Elawati et al., 2015). Akibatnya, klorosis dan nekrosis pada tanaman *Sagittaria lancifolia* terjadi secara bertahap seiring dengan durasi paparan..

Berdasarkan kondisi tanaman yang telah disebutkan, dapat diketahui bahwa paparan LAS dan logam Cu selama 4 minggu tidak memiliki pengaruh berarti terhadap tanaman *Sagittaria lancifolia*, dibuktikan dengan warna tajuk dan akar dalam kondisi segar, bentuk serta strukturnya dalam kondisi kuat dan masih dapat tumbuh tunas baru. Pada penelitian ini memiliki keterbatasan yakni tidak menguji kandungan pencemar pada media pada awal dan akhir penelitian. Namun, dengan melihat ciri-ciri adanya perubahan morfologi pada tanaman daun tombak saat terpapar polutan, dapat menjadi gambaran bahwa polutan dalam media telah terserap oleh tanaman tersebut. Oleh karena itu, informasi dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan awal untuk riset selanjutnya dan pengembangan metode fitoremediasi yang lebih efektif dan efisien dalam mengatasi pencemaran lingkungan oleh cekaman LAS dan Cu.

KESIMPULAN

Sagittaria lancifolia dapat bertahan hidup dengan baik meski pada kondisi cekaman polutan LAS dan logam berat Cu. Hal ini ditandai dengan bertambahnya jumlah daun selama proses fitoremediasi yang menjadi indikasi tanaman telah beradaptasi dengan kondisi tersebut. Namun, kandungan pencemar yang tinggi dalam media dapat mempengaruhi biomassa tanaman dan menyebabkan perubahan warna dan kelainan morfologi pada daun tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kepada Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel Surabaya yang telah memfasilitasi dalam melakukan penelitian ini. Selain itu, author juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi – BRIN yang telah memfasilitasi, membimbing, serta mengarahkan dalam melakukan penelitian dan penyusunan naskah ini.

REFERENSI

- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press. <http://eprints.ulm.ac.id/2238/>.
- Afifudin, A. F., & Irawanto, R. (2021). Estimating The Ability of Lanceleaf Arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) in Phytoremediation of Heavy Metal Copper (Cu). *Berkala Sainstek*, 9(3), 125–130. <https://doi.org/10.19184/BST.V9I3.26667>.
- Afifudin, A. F., & Irawanto, R. (2022). Translocation Mechanism of Lanceleaf Arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) on Copper (Cu) and Phytoremediation Ability. *EnvironmentAsia*, 15(3), 84–94. <https://doi.org/10.14456/ea.2022.50>.
- Afifudin, A. F., Irawanto, R., & Purwitasari, N. (2022). Selection of Potential Plants as Phytoremediation for Heavy Metals in Estuarine Ecosystem: A Systematic Review. *Proceedings of the 4th International Conference on Life Sciences and Biotechnology (ICOLIB 2021)*, 420–434. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-062-6_42.
- Ardiansyah. (2017). *Aplikasi Kombinasi Limbah Cair Industri Tempe dan Urea pada Pertumbuhan dan Hasil Selada (Lactuca sativa)* (Bachelor Thesis). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/8522>.
- 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*. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 2549–2793. <http://jtsl.ub.ac.id>.
- Caroline, J., & Guido, A. M. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 733–744. https://jurnal.itats.ac.id/wp-content/uploads/2015/10/18.-Jenny-caroline_itats.pdf.
- Elawati, Novri, Y. K., & Djuna, L. (2015). Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk.) dengan Waktu Kontak yang Berbeda. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 6(2), 162–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.37971/radial.v6i2.175>.

- Fatikasari, R. N., Tarzan, D., Program, P., Biologi, S., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2022). Effectiveness of Hydrilla verticillata and Lemna minor as Phytoremediator LAS in Domestic Waste Detergent. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263–272. <https://doi.org/10.26740/LENTERABIO.V11N2.P263-272>.
- Fitrihidajati, H., Kustiyaningsih, E., & Rachmadiarti, F. (2019). The Ability of Sagittaria lancifolia as Phytoremediator on Detergent Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4), 42072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042072>.
- Hardiani, H. (2008). Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. *Jurnal Riset Industri*, 2(2), 64–75.
- Hasanah, U. (2020). *Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) Oleh Tanaman Genjer (Limncharis flava) dari Sawah di Daerah Malang Berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan* (Bachelor Thesis). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/24170/>.
- Lussy, N. D., Chatlimbi, T. B. P., & Chris, N. N. (2022). Pertumbuhan dan Hasil Bayam yang Diberi POC Limbah Cair Tahu dan Daun Gamal dengan Lama Fermentasi Berbeda. *Partner*, 27(1), 1710–1722. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35726/jp.v27i1.550>.
- Otzen, D. (2011). Protein – Surfactant Interactions : A Tale of Many States. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1814(5), 562–591. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2011.03.003>.
- Pratiwi, S. H., Retno, T. P., & Kunadi, T. (2021). Pengaruh Lama Pembenaman Hydrilla verticillata (L.F.) Royle Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Agritech*, 23(2), 129–136. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30595/agritech.v23i2.10317>.
- Purnamasari, E. N. (2014). Karakteristik Kandungan Linear Alkyl Benzene Sulfonat (LAS) pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Media Teknik*, 11(1), 32–36. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/teknik/article/view/1177>.
- Puspitasari, Arnelli, & Ahmad, S. (2013). Formulasi Larutan Pencuci dari Surfaktan Hasil Sublasi Limbah Laundry. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(1), 11–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jksa.16.1.11-16>.
- Rizkiaditama, D., Elly, P., & 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*, 287–293. <http://research-report.umm.ac.id/index.php/research-report/article/view/1000>.
- Soheti, P., La, O. S., & Dany, P. M. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), 139–150. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092>.
- Wirawan, S. M. S. (2019). Kajian Kualitatif Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(2), 57–68. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i2.12>.
- Wulandari, F., Astiningrum, M., & Tujiyanta, T. (2017). Pengaruh Jumlah Daun dan Macam Media Tanam pada Pertumbuhan Stek Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia* Swingle). *Vigor: Jurnal Ilmu Pertanian Tropika Dan Subtropika*, 2(2), 48–51. <https://doi.org/10.31002/VIGOR.V2I2.487>
- Yalcin, M. G., Ibrahim, N., & Mustafa, S. (2008). Multivariate Analysis of Heavy Metal Contents of Sediments from Gumusler Creek, Nigde, Turkey. *Environ Geol*, 54, 1155–1163. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0884-6>.