

Efektivitas Tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) pada Media Air

Salsa Nabila¹, Eva Agustina*¹, Risa Purnamasari¹ dan Rony Irawanto²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya,

²Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

*e-mail: eva_agustina@uinsby.ac.id

Abstrak

Pencemaran air merupakan masalah lingkungan yang serius yang mengancam kesehatan manusia dan lingkungan di seluruh dunia. Salah satu pencemar yang sering dijumpai di lingkungan adalah detergen. Adanya pencemaran air dapat mengancam kesehatan berbagai organisme termasuk manusia. Untuk itu, diperlukan solusi untuk menanggulangi permasalahan tersebut. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah dengan fitoremediasi menggunakan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*). Tanaman ini terbukti mampu menyerap berbagai polutan yang ada di lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam fitoremediasi detergen *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) pada media air. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan berbeda konsentrasi LAS, yaitu 0 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L, dan 50 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) efektif dalam menyerap kandungan LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonates*) dalam air dengan daya penyisihan polutan paling tinggi sebesar 95% pada air yang tercemar LAS 10 mg/L. Nilai pH dan TDS mengalami peningkatan tiap minggu pada tiap konsentrasi dan kadar COD meningkat tiap konsentrasi seiring dengan peningkatan kandungan LAS. Namun, hasil pengukuran ketiga parameter masih sesuai dan tidak melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan sehingga dapat dikatakan tanaman *Sagittaria lancifolia* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam upaya menstabilkan kualitas air yang tercemar LAS

Kata kunci— Fitoremediasi, *Linear Alkylbenzene Sulfonates*, *Sagittaria lancifolia*.

Abstract

Water pollution is a critical environmental problem that threatens human health and the environment around the world. One pollutant that is frequently found in the environment is detergent. Water pollution is able to threaten the health of various organisms including humans. Therefore, a solution is needed to overcome this problem. One technique that can be used is phytoremediation using spear leaf plants (*Sagittaria lancifolia*). This plant is proven to be able to absorb various pollutants in the environment. Therefore, this study aims to determine the effectiveness of lanceleaf arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) in phytoremediation of LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonates*) detergent in water. The method used was experimental with a completely

randomized design (CRD) with four different treatments of LAS concentration, namely 0 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L, and 50 mg/L. The research results indicated that the arrowhead plant (*Sagittaria lancifolia*) was effective in absorbing Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) in water, with the highest pollutant removal efficiency of 95% in water contaminated with 10 mg/L LAS. The pH and TDS values increased each week at each concentration, and the COD levels increased with the LAS content. However, the measurement results of the three parameters were still within the quality standard limits, so it can be concluded that the arrowhead plant are able to stabilized the water polluiton.

Keywords— *Phytoremediation; Linear Alkylbenzene Sulfonates; Sagittaria lancifolia.*

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air limbah merupakan masalah lingkungan yang serius yang mengancam kesehatan manusia dan lingkungan di seluruh dunia. Menurut data dari Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), sekitar 80% air limbah yang dihasilkan di seluruh dunia dibuang kembali ke lingkungan tanpa diolah dengan baik [1]. [2] juga telah menambahkan bahwa pertambahan jumlah penduduk yang tinggi juga akan mengakibatkan tingginya volume limbah yang dapat merusak lingkungan. Limbah yang tidak diolah dengan baik dapat mencemari sumber daya air, mempengaruhi kualitas air, dan mengancam keberlanjutan ekosistem perairan [3]. Lebih lanjut, komponen-komponen penyebab pencemaran air dapat berupa limbah padat, bahan anorganik, bahan organik, polusi thermal, minyak dan zat kimia seperti detergen, sabun, insektisida dan zat pewarna [4].

Salah satu pencemar air limbah yang umum terjadi di kawasan perairan adalah senyawa *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS). LAS merupakan bahan aktif yang banyak digunakan dalam produk pembersih rumah tangga dan industri seperti sabun, deterjen, dan pembersih lantai [5]. LAS mudah larut dalam air dan sangat stabil, sehingga sulit dihilangkan dari air limbah. Selain itu, LAS juga berpotensi berbahaya bagi organisme di dalam air, karena dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, dan sistem pernapasan [6]. Kadar LAS yang melebihi ambang batas dapat merusak organ pernapasan, menurunkan toleransi terhadap air dengan kadar oksigen rendah, dan berpotensi untuk merusak hati pada ikan [7].

Upaya untuk mengatasi pencemaran air limbah telah dilakukan dengan berbagai cara, seperti teknologi fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknologi yang menggunakan tanaman untuk membersihkan dan memulihkan kualitas air limbah dan tanah [8]. Metode ini lebih ramah lingkungan dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi lainnya [9]. Selain itu, juga menambahkan bahwa teknik ini terbukti efektif untuk diaplikasikan pada air tawar maupun air payau di kawasan estuary. Salah satu jenis tanaman yang banyak digunakan dalam fitoremediasi adalah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*). Tanaman daun tombak (*Sagittaria lancivvolia*) merupakan salah satu jenis tanaman akuatik [10]. Tanaman ini dikenal memiliki kemampuan untuk menyerap berbagai jenis pencemar seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik [11]. Seperti contoh tanaman ini terbukti mampu mengabsorpsi logam berat tembaga (Cu) pada konsentrasi 5 mg/L [12].

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui efektivitas tanaman daun tombak dalam fitoremediasi

LAS pada media air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi yang lebih ramah lingkungan dalam mengatasi masalah pencemaran air limbah. Penelitian ini juga dapat memberikan informasi yang berguna dalam pengembangan teknologi fitoremediasi yang lebih efektif dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Terdapat empat perlakuan yang diuji dengan tiga ulangan untuk masing-masing perlakuan. Variasi perlakuan didasarkan pada konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 0 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L, dan 50 mg/L. Penelitian dilakukan selama empat bulan, dimulai pada bulan Juli hingga Oktober 2022, dan dilakukan di rumah kaca Kebun Raya Purwodadi - BRIN.

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan, yaitu aklimatisasi, persiapan larutan dan sampel tanaman, pelaksanaan fitoremediasi, dan analisis laboratorium. Tahapan tersebut akan dijelaskan secara lebih rinci di bawah ini:

2.1.1 Aklimatisasi

Dalam penelitian ini, digunakan sampel tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) yang segar dan berukuran sekitar ± 45 cm. Tanaman tersebut diambil dari kolam akuatik di Kebun Raya Purwodadi, kemudian diaklimatisasi di rumah kaca pembibitan selama dua minggu. Tujuan dari aklimatisasi adalah untuk membantu tanaman menyesuaikan diri secara bertahap dengan lingkungan baru dan meregenerasi bagian tubuh yang rusak [10]. Proses aklimatisasi dilakukan dengan menambahkan pupuk NPK sebanyak 7,5 mL pada awal tahap aklimatisasi, dengan perbandingan pupuk NPK dan air sebesar 10:1.

2.1.2 Persiapan Larutan dan Tanaman

Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan larutan kerja LAS dengan variasi konsentrasi 0 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L, dan 50 mg/L. Larutan kerja tersebut dibuat dengan menggunakan larutan induk LAS 100% dan diencerkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan: M1: Konsentrasi larutan awal
M2: Konsentrasi larutan yang diinginkan
V1: Volume larutan awal
V2: Volume larutan setelah pengenceran

Selanjutnya, untuk persiapan tanaman, tanaman yang telah diaklimatisasi dipindahkan ke dalam wadah (reaktor) dan diberikan air sebanyak 2 liter yang sebelumnya telah dicemari dengan LAS sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan diuji.

2.1.3 Pelaksanaan Fitoremediasi

Pelaksanaan fitoremediasi dilakukan dengan pengamatan terhadap beberapa parameter, termasuk pH, TDS, COD, dan kadar LAS dalam air. Untuk pengukuran pH dan TDS dilakukan setiap tujuh hari sekali selama satu bulan dengan menggunakan pH meter dan TDS meter digital. Pengukuran COD dilakukan dengan metode refluks tertutup secara titrimetri, sementara untuk analisis kadar LAS digunakan instrumen spektrofotometer Uv-Vis. Pengukuran COD dan kadar LAS dilakukan pada hari ke 28 setelah paparan cemaran LAS.

2. 1.4 Analisis Sampel Air

Setelah 28 hari paparan LAS pada tanaman, sampel air kemudian dianalisis kadar LAS-nya dengan menggunakan metode MBAS (*Metylen Blue Active Surfactant*) sesuai dengan [13]. Pada metode MBAS, sampel dioksidasi dengan larutan asam sulfat pekat dan kemudian diperlakukan dengan larutan Metylen Blue. Senyawa surfaktan aktif akan bereaksi dengan Metylen Blue dan membentuk kompleks warna biru. Kompleks warna ini kemudian diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 650 nm. Konsentrasi senyawa surfaktan aktif dapat dihitung berdasarkan absorbansi kompleks warna yang terbentuk, dengan membandingkannya dengan kurva kalibrasi yang telah dibuat sebelumnya menggunakan standar LAS.

2. 1.5 Daya Penyisihan LAS

Dalam penelitian ini, perhitungan efektivitas penghilangan zat pencemar LAS dan logam Cu dilakukan dengan menghitung penurunan konsentrasi masing-masing zat tersebut dalam media (mg/L) selama periode 28 hari. Untuk melakukan perhitungan ini, digunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

A : Konsentrasi awal zat pencemar dalam air

B : Konsentrasi akhir zat pencemar dalam air

Analisis data pada parameter kadar LAS dalam media dilakukan dengan menggunakan software SPSS 15 dengan *T 2-Samples Paired Test* dengan taraf signifikansi 5%. Uji ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kadar sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi. Namun sebelum dilakukan uji tersebut terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dengan uji *Saphiro-Wilk* dan uji homogenitas menggunakan uji *Levene*. Lebih lanjut, data yang diperoleh pada parameter nilai pH, TDS, dan COD dipaparkan secara deskriptif dengan memaparkan data dan fakta secara berurutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat beberapa perubahan parameter dalam penelitian ini. Pengukuran pH menunjukkan adanya peningkatan meski tidak signifikan, sementara nilai TDS sangat fluktuatif. Meskipun demikian, nilai COD masih sesuai dengan Peraturan KLHK No. 68 Tahun 2016. Hal yang menarik adalah bahwa kadar LAS pada media mengalami penurunan hingga 95%. Penurunan kadar LAS tersebut menunjukkan efektivitas fitoremediasi dalam mengurangi polutan di media penelitian.

3.1 Nilai pH

Pengukuran pH dalam penelitian ini penting untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan lingkungan yang diperiksa. Hal ini dikarenakan pH dapat mempengaruhi kehidupan organisme air yang terlibat dalam fitoremediasi, dan lingkungan yang terlalu asam atau terlalu basa dapat berdampak buruk pada pertumbuhan tanaman fitoremediator [14]. Pengukuran pH juga membantu untuk mengetahui efektivitas fitoremediasi dalam menetralkan cemaran.

Tabel 1. Nilai pH pada media

No	Perlakuan	Nilai pH (Hari ke)				
		1	7	14	21	28
1	Kontrol	7,26	7,98	7,93	7,71	7,42
2	LAS 10	7,37	8,07	8,46	8,46	8,3
3	LAS 30	7,41	7,84	8,21	8,18	8,23
4	LAS 50	7,36	7,87	8,32	8,35	8,14

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa pada hari ke-1 nilai pH berada pada kisaran angka 7,2 - 7,5 tetapi setelah hari ke-28, nilai pH mengalami kenaikan menjadi 7,4 - 8,5. Namun nilai tersebut masih sesuai dengan Peraturan KLHK No. 68 Tahun 2016 mengenai baku mutu pH air limbah domestik yakni berkisar antara 6 - 9. Selain itu, seperti yang telah dipaparkan pada Tabel 1 hasil pengukuran pH pada masing-masing variasi konsentrasi menunjukkan peningkatan, meskipun tidak signifikan dan fluktuatif, yang dapat disebabkan oleh perbedaan variasi konsentrasi pada masing-masing perlakuan yang tidak signifikan. Adanya perubahan nilai pH dapat terjadi akibat proses fotosintesis dan respirasi tanaman maupun mikroorganisme dalam air [15], di mana fotosintesis dapat meningkatkan pH karena pengambilan ion H^+ dari zat pencemar dan udara [16]. Selain itu, terdapat juga pengaruh dari pelepasan gugus sulfonat dari LAS yang teroksidasi menjadi sulfat dan bereaksi dengan OH^- sehingga dapat merubah nilai pH [17]. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan nilai pH, kenaikan nilai pH mengindikasikan penurunan kadar logam berat dalam media, yang dapat terserap oleh tanaman [18].

3.2 Nilai TDS

Pengukuran TDS (*Total Dissolved Solids*) penting karena TDS mengindikasikan jumlah total zat terlarut yang ada dalam lingkungan. Hal ini berkaitan dengan kualitas air karena semakin tinggi konsentrasi TDS maka semakin banyak zat terlarut yang terkandung dalam air. Pengukuran TDS juga dapat memberikan informasi tentang potensi toksisitas lingkungan bagi tanaman fitoremediator dan organisme air lainnya [10].

Tabel 2. Nilai TDS pada media

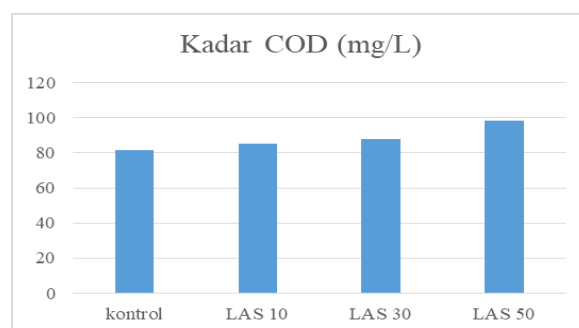
No	Perlakuan	Nilai TDS (mg/L) (Hari ke)				
		1	7	14	21	28
1	Kontrol	111	142	144	138	148
2	LAS 10	111	157	147	143	155
3	LAS 30	128	159	152	174	164
4	LAS 50	128	160	157	178	163

Selama lima kali dalam 28 hari, dilakukan pengukuran TDS dan hasilnya tercatat pada Tabel 2. Terlihat pada tabel tersebut bahwa nilai TDS sangat berubah-ubah namun cenderung mengalami kenaikan. Meskipun begitu, nilai TDS masih masuk ke dalam kategori normal karena memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan, yakni kurang dari 2000 mg/L. Tingginya nilai TDS pada media disebabkan oleh kandungan senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral, dan garam [19]. Selain itu, nilai TDS yang meningkat disebabkan oleh molekul sisa air buangan seperti deterjen, sabun, dan surfaktan yang larut dalam air [20]. Paparan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa nilai TDS selama pengamatan cenderung mengalami peningkatan. Nilai TDS yang tinggi menunjukkan adanya senyawa organik dan anorganik yang belum terdegradasi secara sempurna. Sementara itu, menurut [21], penurunan nilai TDS dapat disebabkan oleh partikel yang terlarut dan mengalami fase metanogenik. Kadar TDS yang normal tidak bersifat toksik, namun kadar yang tinggi dapat

meningkatkan kekeruhan dalam air, menghambat penetrasi cahaya ke dalam air, dan berpengaruh pada proses fotosintesis, serta menyebabkan kematian pada tanaman [22].

3.3 Nilai COD

Pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*) penting untuk mengetahui tingkat polusi organik dalam lingkungan yang diperiksa. Pengukuran ini berkaitan dengan potensi cemaran dalam air karena COD mengindikasikan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan tingkat polusi yang tinggi pula dan dapat memberikan dampak negatif pada organisme air dan lingkungan sekitarnya [23].



Gambar 1. Grafik kadar COD pada media

Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran COD pada penelitian ini berada pada kisaran angka 81,5 mg/L – 98,35 mg/L. Nilai tersebut masih sesuai dengan Peraturan KLHK No. 68 Tahun 2016 mengenai baku mutu air limbah domestik yakni sebesar 100 mg/L. Pada dasarnya, COD merupakan salah satu parameter penting dalam pengolahan air limbah yang menyatakan kebutuhan jumlah total oksigen dalam mengoksidasi zat organik secara kimiawi. Hasil pada nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran bahan organik [24]. [25] menyatakan bahwa kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdegradasi di dalam perairan menyebabkan nilai COD menjadi tinggi. Apabila kadar COD melebihi batas yang ditetapkan, seperti yang dijelaskan oleh [25], maka hal ini dapat mempengaruhi kualitas perairan dengan menurunkan kadar oksigen terlarutnya. Lebih lanjut, [23] juga berpendapat, bahwa rendahnya nilai COD berhubungan dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik. Ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi LAS memiliki kandungan COD yang semakin tinggi pula.

3.3 Kadar LAS pada Media

Pengukuran kandungan LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonates*) penting karena senyawa ini merupakan salah satu jenis surfaktan yang sering digunakan dalam produk pembersih dan sabun yang dibuang ke lingkungan. LAS dapat bersifat toksik bagi organisme air dan mengganggu ekosistem air. Oleh karena itu, pengukuran kandungan LAS dalam penelitian ini penting untuk mengetahui efektivitas fitoremediasi dalam mengurangi kandungan surfaktan yang berbahaya dalam lingkungan.

Tabel 3. Kadar LAS dan Daya Penyisihan

No	Perlakuan	Kadar LAS Media (mg/L)		LAS tersisih (mg/L)	Daya Penyisihan (%)
		Awal	Akhir		
1	kontrol	0	0	0	0
2	LAS 10	10	0,46	9,54	95%
3	LAS 30	30	16,03	13,97	47%
4	LAS 50	50	36,22	13,78	38%

Berdasarkan Tabel 3, dapat diamati bahwa terjadi penurunan kadar LAS dalam air yang cukup signifikan selama 28 hari, dengan penurunan kadar LAS yang sangat baik terlihat pada perlakuan LAS 10, dari awalnya 10 mg/L menjadi 0,46 mg/L atau dengan daya penyisihan sebesar 95%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman daun tombak dapat efektif dalam menyerap LAS pada air. Penelitian yang dilakukan oleh [26] menunjukkan bahwa mikroorganisme yang terdapat pada akar tanaman mampu menguraikan bahan-bahan organik dan anorganik menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga akar lebih mudah untuk menyerap zat pencemar tersebut. Lebih lanjut, [27] menyatakan bahwa mekanisme yang dapat digunakan oleh tanaman untuk menghilangkan LAS pada media meliputi serapan hara dan peningkatan ketersediaan nutrisi melalui fiksasi nitrogen, mineralisasi senyawa organik, dan produksi fitohormon.

Selain itu, setelah dihitung daya penyisihan LAS pada masing-masing perlakuan, didapati hasil 95% pada perlakuan LAS 10, 47% pada perlakuan LAS 30, dan 38% pada perlakuan LAS 50. Daya penyisihan polutan dalam air didasarkan pada penurunan kadar polutan pada media antara sebelum dan sesudah treatment [12]. Hasil perhitungan daya penyisihan pada penelitian ini memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pencemar yang diberikan, memiliki daya penyisihan yang lebih rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh toksisitas zat pencemar yang mempengaruhi proses fisiologis serta metabolisme tanaman [28], sehingga membuat tanaman kurang maksimal dalam menyerap polutan. Daya penyerapan senyawa pencemar oleh tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti luas permukaan serapan, jenis dan sifat senyawa pencemar, konsentrasi senyawa pencemar, waktu kontak, pH, dan suhu [18]. Selain itu, faktor-faktor seperti jenis, jumlah, dan umur tanaman juga dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan senyawa pencemar oleh tanaman [29].

Hasil analisis dengan menggunakan uji T-2 Paired Sample Test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 untuk kadar konsentrasi LAS media. Sesuai dengan hasil penelitian ini, hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara kadar LAS media saat sebelum dan sesudah perlakuan fitoremediasi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam mengembangkan strategi penanganan pencemaran air secara lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan pentingnya menjaga kualitas lingkungan untuk menjaga kesehatan manusia dan organisme lainnya. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi para peneliti dan praktisi di bidang lingkungan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan memperluas penggunaan fitoremediasi dalam menangani berbagai jenis pencemaran air lainnya.

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) efektif dalam menyerap kandungan LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonates*) dalam air dengan daya penyisihan polutan paling tinggi sebesar 95% yakni pada air yang tercemar LAS 10 mg/L. Nilai pH dan TDS mengalami peningkatan tiap minggu pada tiap konsentrasi dan kadar COD meningkat tiap konsentrasi seiring dengan peningkatan kandungan LAS. Namun, hasil pengukuran ketiga parameter masih sesuai dan tidak melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan sehingga dapat dikatakan tanaman *Sagittaria lancifolia* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam upaya menstabilkan kualitas air yang tercemar LAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UN Environment Programme. UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource [Internet]. 2017 UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource. 2017 [cited 2023 Mar 30]. Available from: <https://www.unep.org/resources/publication/2017-un-world-water-development-report-wastewater-untapped-resource>
- [2] Hasibuan R. Analisis Dampak Limbah/Sampah Rumah Tangga Terhadap Pencemaran Lingkungan Hidup. *Jurnal Ilmiah Advokasi. JURNAL ILMIAH ADVOKASI*. 2016 Mar 15;4(1):42–52.
- [3] Khan B, Ullah H, Khan S, Aamir M, Khan A, Khan W. Sources and Contamination of Heavy Metals in Sediments of Kabul River: The Role of Organic Matter in Metals Retention and Accumulation. <http://dx.doi.org/101080/1532038320161224226>. 2016 Nov 16;25(8):891–904.
- [4] Krisnawati, Yulian Widya T, Nurasih A, Muji Santoso A. Perancangan Moolief Bioreactor Untuk Remediasi Air Sungai Brantas Kediri Tercemar Limbah Domestik Dan Industri. In: *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015 UMM*. 2015. p. 496.
- [5] Ardhian Solichin author. Identifikasi laju reaksi penyisihan linear alkilbenzene sulfonat, amonia, besi, dan mangan melalui proses hibrida ozonasi dan teknologi membran. *Fakultas Teknik Universitas Indonesia*; 2011.
- [6] Sudarminto HP, Suryandari AS, Mufid M, Sindhuwati C, Maula I. Degradasi Linear Alkylbenzene Sulfonate Air Limbah Laundry Menggunakan Proses Fotokatalisis. *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*. 2021 Sep 21;5(1).
- [7] Yuliani R, Purwanti E, Pantiwati Y. Pengaruh Limbah Detergen Industri Laundry terhadap Mortalitas dan Indeks Fisiologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Prosiding Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS*. 2015;12(1):207–11.
- [8] Sood A, Uniyal PL, Prasanna R, Ahluwalia AS. Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, *Azolla*. *Ambio*. 2012 Mar 21;41(2):122–37.
- [9] Afifudin AFM, Sari RP, Irawanto R. Public perception of plants potential for environmental remediation effort. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 2022 Nov 30;8(2).
- [10] Afifudin AF, Irawanto R. Estimating The Ability of Lanceleaf Arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) in Phytoremediation of Heavy Metal Copper (Cu). *BERKALA SAINSTEK* [Internet]. 2021 Aug 9 [cited 2022 Feb 4];9(3):125–30. Available from: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/BST/article/view/26667>
- [11] Zhang S, Bai J, Wang W, Huang L, Zhang G, Wang D. Heavy metal contents and transfer capacities of *Phragmites australis* and *Suaeda salsa* in the Yellow River Delta, China. *Physics and Chemistry of the Earth* [Internet]. 2018;104:3–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.02.011>
- [12] Afifudin AF, Irawanto R. Translocation Mechanism of Lanceleaf Arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) on Copper (Cu) and Phytoremediation Ability. *EnvironmentAsia*. 2022;15(3):84–94.
- [13] Standar NI. Cara Uji Kadar Surfaktan Anionik Dengan Spektrofotometer Secara Biru Metilen (SNI 06-6989.51-2005). Jakarta; 2005.
- [14] Karoba F, Nurjasmi R, Fakultas Pertanian Prodi S- M, Fakultas Pertanian Prodi S- D. Pengaruh Perbedaan pH Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica Oleraceae*) Sistem Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique). *Jurnal Ilmiah Respati*. 2015 Dec 1;6(2).
- [15] Suryadi, Isna A, Kadaria U. Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum Demersum*) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *jurnal teknologi lingkungan lahan baasah*. 2017;5(1).
- [16] Widya C, Zaman B, Syafrudin S. Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod, Cod Dan Warna. *Jurnal*

- Teknik Lingkungan. 2015;4(2):1–8.
- [17] Fatikasari RN, Tarzan D, Program P, Biologi S, Biologi J, Matematika F, et al. Effectiveness of Hydrilla verticillata and Lemna minor as Phytoremediator LAS in Domestic Waste Detergent. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*. 2022 Feb 4;11(2):263–72.
- [18] Basri S, Hamzah E. Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2015;1(1):49–59.
- [19] Effendi H. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: PT Kanisius; 2003.
- [20] Sari S, Sulistyaningsih T, Susilaningsih E. Kajian Adsorpsi Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) Menggunakan Magnetit. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 2016;5(1):56–62.
- [21] Retnosari AA, Retnosari AA, Shovitri M. Kemampuan Isolat *Bacillus* sp. dalam Mendegradasi Limbah Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 2013 Mar 1;2(1):E7–11.
- [22] Kustiyaningsih E, Irawanto R. Pengukuran Total Dissolved Solid (Tds) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2020;7(1):143–8.
- [23] Harahap MR, Amanda LD, Matondang AH. Analisis Kadar Cod (Chemical Oxygen Demand) Dan Tss (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *AMINA*. 2020;2(2):79–83.
- [24] Oladipo AA, Adeleye OJ, Oladipo AS, Aleshinloye AO. Bio-derived MgO nanopowders for BOD and COD reduction from tannery wastewater. *Journal of Water Process Engineering*. 2017 Apr 1;16:142–8.
- [25] Supriyantini E, Azizah R, Nuraini T, Fadmawati AP. Studi Kandungan Bahan Organik Pada Beberapa Muara Sungai Di Kawasan Ekosistem Mangrove, Di Wilayah Pesisir Pantai Utara Kota Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*. 2017 Aug 28;6(1):29–38.
- [26] Pratiwi WM, Asri MT, Biologi J, Matematika F, Pengetahuan I, Universitas A, et al. Identification of Pesticide Prophenophos and Chlorantraniliprole Indigenous Degrading Bacteria in Jombang East Java. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*. 2022 Feb 22;11(2):300–9.
- [27] Kishimoto N, Hamamoto S. Removal of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by a cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)-aided coagulation-filtration process. <https://doi.org/10.1080/0959333020201807607>. 2020;43(6):815–23.
- [28] Abbas Z, Arooj F, Ali S, Zaheer IE, Rizwan M, Riaz MA. Phytoremediation of landfill leachate waste contaminants through floating bed technique using water hyacinth and water lettuce. *International Journal of Phytoremediation* [Internet]. 2019 Nov 10 [cited 2021 Nov 20];21(13):1356–67. Available from: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633259>
- [29] Rahadian R, Sutrisno E, Sumiyati S. Efisiensi Penurunan Cod dan Tss dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2017;6(3):1–8.