

Phytoremediation of Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) Detergent Using *Azolla microphylla* and *Ludwigia adscendens*

Ifa Ulya Fitriyani^{1*} & Fida Rachmadiarti¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia;

Article History

Received : April 15th, 2026

Revised : May 17th, 2026

Accepted : May 22th, 2026

*Corresponding Author: **Ifa Ulya Fitriyani**, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia;
Email: ifaulya3153@gmail.com

Abstract: The increasing use of detergents has the potential to cause water pollution due to their surfactant content, particularly Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS), which is toxic to aquatic organisms and poses a risk to human health. One approach to mitigating LAS pollution is phytoremediation. Although phytoremediation has been widely practiced, studies comparing the effectiveness of two plant species remain limited. This study aims to determine the effects of plant species, LAS concentration, and their interaction on the reduction of LAS levels in water, chlorophyll levels in leaves, and plant fresh biomass. This study is an experimental study using a Randomized Block Design (RBD) with two treatment factors: plant species (*Azolla microphylla* and *Ludwigia adscendens*) and LAS concentration (0 ppm, 10 ppm, and 20 ppm). The observed parameters included LAS concentration in water, leaf chlorophyll content, and plant fresh biomass, which were analyzed using two-way ANOVA and Duncan's test, and environmental physicochemical parameters were analyzed using quantitative descriptive analysis and compared with applicable quality standards. The results showed that plant species, LAS concentration, and their interaction significantly affected LAS concentration in water, leaf chlorophyll content, and plant fresh biomass. The highest reduction in LAS occurred in the *Ludwigia adscendens* treatment (10 ppm) at 99.200%, while the lowest was in the *Azolla microphylla* treatment (20 ppm) at 96.983%. The results of the study prove that *Azolla microphylla* and *Ludwigia adscendens* have the potential to be used as phytoremediation agents for LAS contamination.

Keywords: *Azolla microphylla*; *Ludwigia adscendens*; LAS detergent; Phytoremediation.

Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia yang disertai dengan aktivitas manusia yang tidak menjaga keseimbangan alam menyebabkan peningkatan pencemaran pada perairan (Silviana & Rachmadiarti, 2023). Limbah domestik berkontribusi besar terhadap terjadinya pencemaran air. Penghasil limbah domestik salah satunya adalah limbah dari usaha *laundry* yang dibuang langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan (Mildawati et al., 2022).

Kandungan dalam limbah *laundry* yang dapat mencemari lingkungan berasal dari detergen. Penggunaan detergen di Indonesia terus mengalami peningkatan yang signifikan, diperkirakan sekitar 10 % per tahun (Bisma & Sarmo, 2022). Detergen mengandung bahan aktif yang berfungsi untuk meningkatkan efektifitas pembersihan seperti surfaktan, fosfat dan bahan aditif lainnya (Gulo, 2025).

Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) merupakan salah satu jenis surfaktan yang banyak digunakan sebagai komponen utama detergen karena memiliki kemampuan yang sangat baik dalam pembersihan. Penggunaan LAS di dunia mencapai 18,2 juta ton disetiap

tahun (Kusmawati et al., 2025). LAS lebih mudah terdegradasi secara alami namun akan sulit terdegradasi jika dalam konsentrasi yang tinggi. LAS bersifat toksik terhadap organisme akuatik seperti ikan karena dapat menyebabkan peradangan, pembengkakan, menurunkan kesuburan gonad sehingga berpotensi merusak hati ikan. Selain itu, LAS juga berdampak terhadap manusia dengan mengiritasi kulit dan mata serta merusak organ dalam seperti ginjal dan empedu (Imtiyaz & Rachmadiarti, 2021). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk Air Limbah Domestik, menyatakan bahwa kadar maksimum untuk detergen pada air limbah adalah 10 mg/L.

Salah satu upaya penanggulangan pencemaran air akibat LAS detergen yaitu dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah metode pengolahan limbah dengan memanfaatkan kemampuan tumbuhan sebagai agen remediasi (Priantoro et al., 2025). Keuntungan metode fitoremediasi dibandingkan dengan metode pengolahan limbah lainnya yaitu biaya yang digunakan lebih murah, dapat dilakukan secara eksitu dan insitu serta dapat bekerja dalam senyawa organik maupun anorganik sehingga dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Soheti & Marisi, 2020). Penerapan teknik fitoremediasi menggunakan tumbuhan dianggap mampu untuk mengembalikan fungsi air yang tercemar menjadi lebih baik. Dengan adanya penerapan fitoremediasi dapat mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) terutama SDGs 6 yang berfokus pada penyediaan air bersih dan sanitasi.

Tumbuhan yang dapat digunakan dalam penerapan teknik fitoremediasi dengan kemampuan mengakumulasi kontaminan di bagian akar, batang, maupun daun disebut sebagai tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator yang dapat digunakan untuk fitoremediasi diantaranya *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens*. *Azolla microphylla* merupakan tumbuhan yang biasa dikenal dengan paku air. Tumbuhan ini dapat menyerap nutrisi dan polutan secara efisien

melalui akar dan daunnya. *Azolla microphylla* dapat tumbuh di lingkungan tercemar dan dapat tumbuh cepat hingga dua cm per hari. Dalam 3-5 hari biomassa *Azolla microphylla* dapat berkembang menjadi 2-3 kali lipat dari berat asalnya (Taghilou et al., 2023). *Azolla microphylla* efektif digunakan dalam fitoremediasi karena juga dapat menurunkan kadar BOD dan COD pada limbah cair tahu (Rahman et al., 2024).

Ludwigia adscendens merupakan tumbuhan air yang biasa dikenal dengan tapak dara air. *Ludwigia adscendens* memiliki sistem akar serabut yang membantu tanaman dalam penyerapan nutrisi dan polutan serta stabilisasi tanaman dalam air (Desmarani et al., 2025). Tumbuhan ini dapat bertahan hidup di lingkungan yang tercemar dan dapat beradaptasi dengan cukup baik sehingga dapat mentoleransi polutan. *Ludwigia adscendens* efektif dalam fitoremediasi karena dapat menurunkan kadar LAS detergen dengan kadar 30 ppm dalam waktu 10 hari (Rachmadiarti et al., 2020)

Penelitian fitoremediasi LAS Detergen sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh Rulitasari & Rachmadiarti (2021) dengan menggunakan *Marsilea crenata*. Sementara itu, penelitian lain juga dilakukan oleh Fitriana & Kuntjoro (2021) dengan menggunakan *Lemna minor*. Penelitian yang telah dilakukan tersebut berfokus pada efektivitas tumbuhan dalam menurunkan LAS detergen dan menilai respon fisiologis atau ketahanan tumbuhan berdasarkan biomassa basah tumbuhan saja. Hingga saat ini, penelitian yang melihat nilai ketahanan tumbuhan berdasarkan kadar klorofil serta membandingkan efektivitas dua jenis tanaman khususnya *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jenis tumbuhan, konsentrasi LAS detergen, dan interaksinya terhadap kadar LAS dalam air, kadar klorofil dalam daun serta pertumbuhan (biomassa basah) tumbuhan. Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi ramah lingkungan dalam mengurangi pencemaran pada perairan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada November sampai Desember 2025 di Green House Biologi FMIPA Unesa. Analisis kadar klorofil dilakukan di Laboratorium Riset Biologi IsDB FMIPA Unesa. Analisis kadar LAS detergent dilakukan di PDAM Surya Sembada Surabaya.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu termometer, pH meter DO meter, botol winkler, spektrofotometer UV-Vis, timbangan analitik/digital, bak container/galon bekas, gelas beker, mortar dan alu, kertas saring, *shaker*, corong pisah, gelas ukur, *glass wool*. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu LAS detergent, tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens*, aquades, alkohol 96%, *methylene blue*, kloroform.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) yang terdiri atas 9 perlakuan dengan 3 kali pengulangan pada tiap perlakuan. Prosedur penelitian terbagi atas tahapan persiapan dan tahapan eksperimen. Tahap persiapan dari penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel tanaman kemudian dilanjutkan aklimatisasi selama 7 hari. Selanjutnya dilakukan pembuatan media tanam dengan menyiapkan 27 wadah kemudian ditambahkan LAS detergent dengan konsentrasi yang berbeda (0 ppm, 10 ppm dan 20 ppm). LAS detergent ditimbang 50 mg dan 100 mg sebanyak 9 kali kemudian dihogenkan air sebanyak 5 liter.

Tahap eksperimen diawali dengan menimbang tumbuhan sebanyak 100 gram kemudian dilakukan perlakuan selama 7 hari. Diawal dan diakhir perlakuan dilakukan pengujian kadar LAS detergent dalam air, kadar klorofil dalam daun, pertumbuhan (biomassa basah) tumbuhan dan parameter fisika kimia lingkungan. Kadar LAS detergent diukur menggunakan spektrofotometer UV-Visible dengan metode MBAS serta melihat absorbansi pada panjang gelombang 652 nm. Data kadar awal dan kadar akhir LAS detergent diukur kemudian dihitung presentase penurunannya. Rumus menghitung presentase penurunan adalah sebagai berikut.

$$\text{Presentase penurunan} = \frac{\text{kadar awal} - \text{kadar akhir}}{\text{kadar awal}} \times 100\%$$

Kadar klorofil diukur menggunakan spektrofotometer dengan membaca nilai absorbansi pada gelombang 665 nm dan 649 nm. Nilai *Optical Density* (OD) kemudian dihitung berdasarkan rumus *Wintermans* dan *De Mots*. Berikut merupakan rumus perhitungan kadar klorofil.

$$\text{Klorofil A} = 13,7 \text{ OD } 665 - 5,76 \text{ OD } 649 \text{ (mg/L)}$$

$$\text{Klorofil B} = 25,8 \text{ OD } 649 - 7,60 \text{ OD } 665 \text{ (mg/L)}$$

$$\text{Klorofil total} = 20,0 \times \text{OD } 649 + 6,1 \text{ OD } 665 \text{ (mg/L)}$$

Pengukuran biomassa tumbuhan dilakukan dengan menimbang tumbuhan menggunakan timbangan digital. Parameter fisika kimia lingkungan yang diukur meliputi suhu, pH, DO, dan BOD. Pengukuran suhu dilakukan dengan bantuan alat berupa termometer. Pengukuran pH dilakukan dengan bantuan alat berupa pH meter. Pengukuran DO dilakukan dengan bantuan alat berupa DO meter. Pengukuran BOD dilakukan dengan bantuan alat berupa DO meter. Nilai DO dicatat pada hari pertama, kemudian sampel air disimpan dalam kulkas dengan suhu 20°C selama lima hari. Pada hari kelima dilakukan pengukuran kembali. BOD diukur dengan menggunakan metode BOD₅. Perhitungan penentuan BOD₅ adalah sebagai berikut

$$\text{BOD}_5 = (\text{kadar DO 0 hari} - \text{kadar DO 5 hari})$$

Teknik Analisis Data

Penelitian ini, data kadar LAS detergent dalam air, kadar klorofil dalam daun, dan pertumbuhan (biomassa basah) tumbuhan dianalisis secara statistik menggunakan uji ANOVA dua arah untuk mengetahui pengaruh jenis tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* terhadap kadar LAS detergent dalam air, kadar klorofil dalam daun, dan pertumbuhan (biomassa basah) tumbuhan. Hal ini juga berlaku pada konsentrasi LAS detergent yaitu untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap kadar LAS detergent dalam air, kadar klorofil dalam daun, dan pertumbuhan (biomassa basah)

tumbuhan. Selanjutnya dilakukan uji Duncan dengan taraf 5% untuk mengetahui beda nyata paling tinggi. Data parameter fisika-kimia lingkungan meliputi suhu, pH, DO, BOD dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Data yang telah didapatkan dari hasil penelitian meliputi data kadar LAS, pH dan BOD dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025. Data suhu dan DO dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* dalam menurunkan kadar Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) detergen, kadar klorofil dalam daun dan biomassa basah tumbuhan.

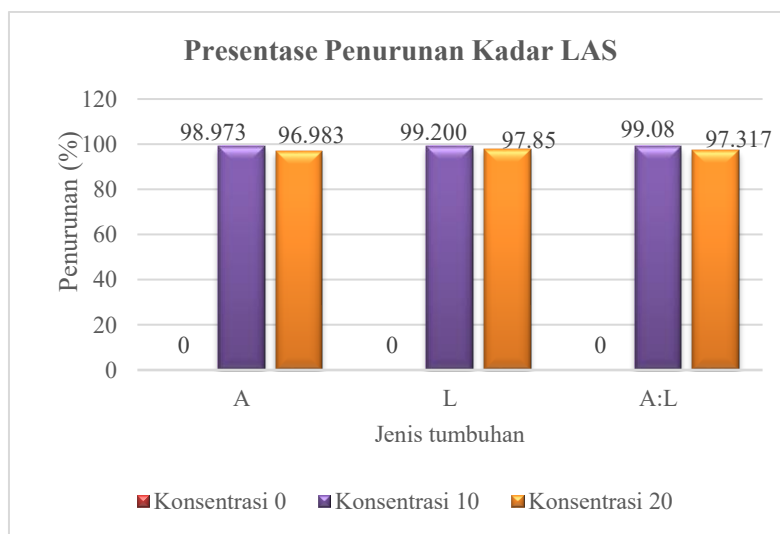
Kadar LAS Detergen

Pengukuran kadar LAS dalam air dilakukan untuk mengetahui kadar surfaktan pada sampel air penelitian. Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan pada setiap perlakuan. Data hasil pengukuran kadar LAS disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Penurunan Kadar LAS

Tumbuhan	Konsentrasi LAS (ppm)		Baku mutu (mg/L*)
	Awal	Akhir	
<i>Azolla microphylla</i>	0	0,000±0,000 ^{Ba}	10
	10	0,103±0,016 ^{Bb}	
	20	0,603±0,045 ^{Bc}	
<i>Ludwigia adscendens</i>	0	0,000±0,000 ^{Aa}	
	10	0,080±0,011 ^{Ab}	
	20	0,430±0,046 ^{Ac}	
Kombinasi	0	0,000±0,000 ^{Ba}	
	10	0,092±0,003 ^{Bb}	
	20	0,537±0,050 ^{Bc}	

Keterangan : Perbedaan notasi menunjukkan bahwa hasil berbeda nyata berdasarkan uji Duncan. Huruf kapital (A,B) menunjukkan jenis tumbuhan dan huruf kecil (a,b,c) menunjukkan konsentrasi. *) = Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025



Gambar 1. Grafik Penurunan Kadar LAS

Uji Anova dua arah menunjukkan bahwa terdapat pengaruh jenis tumbuhan (sig 0,001), konsentrasi (sig 0,000) serta interaksi (sig 0,032) berpengaruh signifikan terhadap kadar LAS dalam air. Uji Duncan menunjukkan bahwa *Ludwigia adscendens* berbeda nyata dengan *Azolla microphylla* dan kombinasi sedangkan *Azolla microphylla* dan kombinasi tidak berbeda nyata. Perlakuan konsentrasi berbeda nyata terhadap efektivitas penurunan kadar LAS pada konsentrasi 0 ppm, 10 ppm dan 20 ppm.

Efektivitas penurunan kadar LAS tertinggi pada tumbuhan *Ludwigia adscendens* pada konsentrasi 10 ppm sebesar 99,200% sedangkan efektivitas penurunan terendah pada perlakuan

Azolla microphylla dengan konsentrasi 20 ppm sebesar 96,983%. Pada keseluruhan perlakuan menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi maka semakin menurun efektivitas penurunan kadar LAS dalam air.

Kadar Klorofil dalam Daun

Pengukuran kadar klorofil dalam daun dilakukan untuk mengetahui kandungan pigmen fotosintesis pada tumbuhan. Perbedaan kadar klorofil menunjukkan kondisi fisiologis tumbuhan serta respon tumbuhan. Data hasil pengukuran kadar klorofil daun disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Kadar Klorofil Daun *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens*

Tumbuhan	Jenis Klorofil	Kadar Klorofil (mg/L)		
		0 ppm	10 ppm	20 ppm
<i>Azolla microphylla</i>	a	6,689±0,655 ^a	5,515±0,201 ^b	5,027±0,444 ^c
	b	2,656±0,507 ^a	1,695±0,192 ^b	1,446±0,595 ^c
	total	9,334±0,791 ^a	7,202±0,389 ^b	6,465±0,595 ^c
<i>Ludwigia adscendens</i>	a	21,045±1,1017 ^a	18,658±0,661 ^b	17,104±2,070 ^c
	b	8,300±1,437 ^a	7,470±0,557 ^b	5,898±0,602 ^c
	total	29,310±1,437 ^a	26,096±0,557 ^b	22,975±1,472 ^c

Keterangan : Perbedaan notasi menunjukkan bahwa hasil berbeda nyata berdasarkan uji Duncan. Huruf kecil (a,b,c) menunjukkan konsentrasi.

Uji Anova dua arah menunjukkan bahwa jenis tumbuhan (sig 0,000), konsentrasi (sig 0,000) serta interaksi (sig 0,027) berpengaruh signifikan terhadap kadar klorofil daun. Uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi berbeda nyata terhadap kadar klorofil pada konsentrasi 0 ppm, konsentrasi 10 ppm dan konsentrasi 20 ppm. Kadar klorofil tertinggi pada perlakuan tumbuhan *Ludwigia adscendens* dengan konsentrasi 0 ppm sebesar 29,310 mg/L sedangkan kadar klorofil terendah ada pada

perlakuan tumbuhan *Azolla microphylla* dengan konsentrasi 20 ppm sebesar 6,465 mg/L.

Pertumbuhan (Biomassa Basah) Tumbuhan

Pengukuran biomassa basah tumbuhan dilakukan untuk mengetahui perubahan pertumbuhan tanaman selama periode penelitian. Perubahan biomassa basah pada setiap perlakuan menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam beradaptasi. Data hasil pengukuran biomassa basah tumbuhan disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Biomassa basah tumbuhan

Tumbuhan	Biomassa basah (gram)		
	0 ppm	10 ppm	20 ppm
<i>Azolla microphylla</i>	109,67±1,53 ^{Ca}	106,00±3,00 ^{Cb}	93,00±3,00 ^{Cc}
<i>Ludwigia adscendens</i>	119,33±1,53 ^{Aa}	114,33±1,53 ^{Ab}	110,33±2,52 ^{Ac}
Kombinasi	111,00±2,00 ^{Ba}	108,33±3,21 ^{Bb}	102,00±4,36 ^{Bc}

Keterangan : Perbedaan notasi menunjukkan bahwa hasil berbeda nyata berdasarkan uji Duncan. Huruf kapital (A,B) menunjukkan jenis tumbuhan dan huruf kecil (a,b,c) menunjukkan konsentrasi.

Uji Anova dua arah menunjukkan bahwa jenis tumbuhan (sig 0,000), konsentrasi (sig 0,000) serta interaksi (sig 0,047). Uji Duncan

menunjukkan bahwa perlakuan jenis tumbuhan berbeda nyata terhadap biomassa basah tumbuhan dan perlakuan konsentrasi berbeda

nyata terhadap biomassa basah tumbuhan. Biomassa basah tertinggi pada perlakuan tumbuhan *Ludwigia adscendens* dengan konsentrasi 0 ppm sebesar 119,33 gram sedangkan biomassa terendah pada perlakuan tumbuhan *Azolla microphylla* dengan konsentrasi 20 ppm sebesar 93,00 gram.

Parameter Fisika Kimia Lingkungan

Pengukuran parameter fisika kimia lingkungan dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan atau media penelitian selama proses pengamatan berlangsung. Parameter fisika kimia lingkungan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman serta efektivitas proses fitoremediasi. Data hasil pengukuran parameter fisika kimia lingkungan disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Parameter Fisika Kimia Lingkungan

Tumbuhan	Parameter	Konsentrasi LAS						Baku mutu
		0 ppm		10 ppm		20 ppm		
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
<i>Azolla microphylla</i>	Suhu	29,67	28	30	28	29,67	28	Deviasi 3(**)
	pH	7,13	7,04	7,28	7,12	7,56	7,25	6-9 (*)
	DO	5,10	5,87	4,73	5,73	4,40	5,40	≥ 3 (**)
	BOD	1,33	1,10	1,57	1,33	1,87	1,53	100 (*)
<i>Ludwigia adscendens</i>	Suhu	30	28	29,67	27,33	30	27,67	Deviasi 3(**)
	pH	7,05	6,99	7,31	7,07	7,48	7,19	6-9 (*)
	DO	5,33	6,17	4,67	5,87	4,47	5,67	≥ 3 (**)
	BOD	1,27	1,03	1,50	1,17	1,80	1,40	100 (*)
Kombinasi	Suhu	29,67	28	30	27,67	29,67	28	Deviasi 3(**)
	pH	7,15	7,00	7,31	7,06	7,49	7,22	6-9 (*)
	DO	5,23	5,97	4,63	5,67	4,53	5,53	≥ 3 (**)
	BOD	1,30	1,07	1,53	1,23	1,90	1,50	100 (*)

Keterangan: *) = Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025. **) = Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu mengalami penurunan. Suhu tertinggi dengan sebesar 28°C sedangkan suhu terendah sebesar 27,33°C. Kadar pH mengalami penurunan. Kadar pH tertinggi sebesar 7,25 sedangkan kadar pH terendah sebesar 6,99. Kadar DO mengalami peningkatan. Kadar DO tertinggi sebesar 6,17 mg/L sedangkan kadar DO terendah sebesar 5,40 mg/L. Kadar BOD mengalami penurunan. Kadar BOD tertinggi sebesar 1,53 mg/L sedangkan kadar BOD terendah sebesar 1,03 mg/L.

Pembahasan

Kadar LAS dalam Air

Penurunan kadar LAS dalam air menandakan proses fitoremediasi berlangsung secara efektif. *Ludwigia adscendens* paling banyak menyerap LAS dalam air karena memiliki akar serabut yang lebat dengan dua tipe akar yaitu akar adventif dan akar napas sehingga tumbuhan yang terendam air dapat menjalankan fungsi fisiologis dengan normal (Dung *et al.*, 2021). Hal tersebut didukung oleh (Desmarani *et*

al. (2025), yang menyatakan bahwa akar membantu tumbuhan *Ludwigia adscendens* dalam penyerapan nutrisi dan polutan serta stabilisasi tanaman dalam air. Selain itu, keberadaan mikroorganisme di sekitar perakaran (rizosfer) juga berpotensi mendukung proses degradasi LAS.

Azolla microphylla dapat menyerap LAS detergen dalam air namun penyerapannya tidak sebanyak *Ludwigia adscendens* karena akarnya yang lebih halus dan lebih pendek dibandingkan dengan *Ludwigia adscendens*. Kombinasi tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* lebih efektif menyerap LAS dibandingkan *Azolla microphylla* tunggal, namun belum melampaui efektifitas *Ludwigia adscendens* tunggal. Dengan demikian tumbuhan bekerja sama untuk membentuk suatu kesatuan ekosistem yang menguntungkan.

Efektivitas penurunan LAS tertinggi berdasarkan konsentrasi terdapat pada konsentrasi 10 ppm karena konsentrasi tersebut masih tergolong rendah dan tidak melebihi baku mutu sehingga penyerapan zat dalam air masi

optimal. Efektifitas menurun seiring bertambahnya konsentrasi dikarenakan toksisitas LAS dan tumbuhan telah mengalami titik jenuh terhadap penyerapan zat kontaminan (Fatiha et al., 2025). Temuan serupa juga dilaporkan pada penelitian Apriliani et al. (2025), yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi LAS menyebabkan penurunan efisiensi penyerapan.

Interaksi jenis tumbuhan dan konsentrasi berpengaruh terhadap efektivitas penurunan kadar LAS dalam air. Interaksi ini menunjukkan bahwa kemampuan tumbuhan dalam menurunkan kadar LAS tidak hanya ditentukan oleh jenis tumbuhan yang digunakan namun juga dipengaruhi oleh konsentrasi LAS. Dilihat dari interaksi, perlakuan terbaik ada pada *Ludwigia adscendens* dengan konsentrasi rendah (10 ppm). Kadar *Linear alkylbenzene sulfonate* (LAS) deterjen diserap tumbuhan melalui tiga proses yaitu adsorpsi atau penyerapan kemudian dilanjutkan translokasi ke bagian lain tumbuhan kemudian lokalasi pada sel dan jaringan tumbuhan. LAS deterjen mengandung sulfat (SO_4^{2-}) dan natrium (Na^+) yang akan diserap tumbuhan untuk proses metabolisme (Fitriana & Kuntjoro, 2020). Tumbuhan menyerap sulfat (SO_4^{2-}) menggunakan akar kemudian diubah menjadi sulfat (SO_3^{2-}). Setelah terserap akan diangkut melalui pembuluh xilem menuju batang. Natrium (Na^+) diserap tumbuhan melalui dinding sel.

Senyawa deterjen yang diangkut xilem melewati pita kaspari yang bersifat impermeabel yang tidak memungkinkan air melewatinya secara langsung, maka air harus dipompa melewati sel sel endodermis. Setelah berhasil melewati sel sel endodermis, ion Na^+ ditranslokasikan mengikuti aliran air melalui xilem dan floem menuju bagian bagian lain tumbuhan. Senyawa yang larut dalam air dapat diserap ujung akar tumbuhan karena adanya gaya tarik menarik antar molekul air. Selajutnya, senyawa tersebut akan bergerak naik ke batang melalui xilem lalu diteruskan ke daun (Susanto et al., 2021).

Setelah senyawa sampai ke daun kemudian dilanjutkan dengan mekanisme lokalisasi. Lokalisasi adalah proses penyimpanan polutan pada bagian sel dan jaringan tumbuhan supaya polutan tidak bersifat toksik dan tidak mengganggu metabolisme tumbuhan. LAS

deterjen yang masuk ke dalam tumbuhan akan didetoksifikasi melalui degradasi enzim kemudian akan terakumulasi di dalam vakuola. Vakuola berperan untuk menjaga agar LAS deterjen tidak mengganggu metabolisme tumbuhan. Namun, jika terlalu banyak LAS yang masuk ke vakuola maka vakuola bisa pecah. Cairan yang mengandung LAS akan masuk ke dalam sitoplasma sehingga bisa merusak membran plasma. Kerusakan membran plasma akan mengakibatkan kerusakan pada kloroplas sehingga proses fotosintesis terhambat (Fitrihidajati et al., 2020). Kadar LAS yang dihasilkan berkisar 0,080 – 0,603 mg/L. Seluruh perlakuan menunjukkan bahwa kadar LAS sudah di bawah baku mutu yang tertera pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 yaitu 10 mg/L.

Kadar Klorofil dalam Daun

Kadar klorofil *Ludwigia adscendens* lebih tinggi dibandingkan *Azolla microphylla* karena *Ludwigia adscendens* memiliki tingkat toleransi yang lebih baik terhadap paparan LAS dibandingkan *Azolla microphylla*. Perbedaan kadar klorofil antar jenis tumbuhan berkaitan dengan karakter morfologi daun. *Ludwigia adscendens* memiliki daun yang lebih lebar dibandingkan *Azolla microphylla* sehingga mendukung kemampuan tumbuhan dalam memanfaatkan cahaya secara optimal untuk proses fotosintesis. Selain itu, warna daun juga berpengaruh terhadap kadar klorofil. Semakin hijau warna daun maka semakin tinggi kadar klorofilnya (Dharmadewi, 2020).

Kadar klorofil semakin rendah seiring dengan bertambahnya konsentrasi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Rachmadiarti et al.(2020), yang menyatakan semakin tinggi konsentrasi LAS deterjen dalam media tanam maka kadar klorofil dalam daun semakin menurun. LAS dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan stres pada tanaman sehingga menghambat produksi klorofil (Nabila et al., 2023). Konsentrasi LAS yang tinggi menghambat masuknya unsur magnesium (Mg) dan nitrogen (N) sehingga berdampak pada penurunan klorofil daun dan efisiensi fotosintesis tanaman. LAS deterjen dengan jumlah yang besar masuk ke dalam tumbuhan akan berakibat pada kerusakan membran plasma. Kerusakan

membran plasma akan merusak kloroplas sehingga berdampak terhadap pembentukan klorofil (Fitrihidajati et al., 2020). Kadar klorofil dapat dijadikan indikator seberapa kuat sebuah tanaman terpapar zat kontaminan. Paparan zat pencemar yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan fisiologis seperti klorosis dan nekrosis pada daun (Nabila et al., 2023)

Interaksi jenis tumbuhan dan konsentrasi juga berpengaruh terhadap kadar klorofil dalam daun. Interaksi ini menunjukkan bahwa perubahan kadar klorofil dalam daun tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi saja namun dipengaruhi oleh jenis tumbuhannya. Dalam proses fitoremediasi, klorofil daun dapat digunakan tanaman untuk fotosintesis sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang pada akhirnya dapat meningkatkan biomassa basah (Nurfadilah et al., 2024)

Pertumbuhan (Biomassa Basah) Tumbuhan

Biomassa basah adalah total berat seluruh tumbuhan yang dipengaruhi oleh kandungan airnya (Nofrianto et al., 2018). *Ludwigia adscendens* menghasilkan biomassa tertinggi basah tertinggi pada setiap perlakuan dari pada *Azolla microphylla* dikarenakan memiliki kemampuan adaptasi dan toleransi yang lebih baik terhadap paparan LAS. *Ludwigia adscendens* mampu mempertahankan pertumbuhan dan menghasilkan biomassa basah yang lebih tinggi karena karakter morfologi dan fisiologinya yang mendukung seperti sistem perakaran serta kemampuan fotosintesis yang baik sedangkan *Azolla microphylla* menghasilkan biomassa basah yang lebih rendah bahkan pada konsentrasi yang tinggi biomassa basah menurun. Perlakuan kombinasi tumbuhan menghasilkan biomassa basah yang lebih tinggi dibandingkan *Azolla microphylla* tunggal karena adanya peran yang lebih dominan dari *Ludwigia adscendens* dalam mendukung pertumbuhan biomassa basah pada sistem kombinasi.

Semakin tingginya penggunaan konsentrasi LAS detergen dalam media tanaman maka semakin rendah pertumbuhan tanaman. Perlakuan *Ludwigia adscendens* dan kombinasi mengalami peningkatan namun pada perlakuan *Azolla microphylla* dengan tinggi mengalami penurunan. Penurunan biomassa basah tumbuhan dikarenakan terganggunya pertumbuhan akibat pengaruh dari LAS. Hal ini sesuai dengan

penelitian Fatikasari & Purnomo (2022), terjadi penurunan biomassa basah pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* akibat paparan LAS detergen.

Penurunan biomassa basah menunjukkan bahwa tumbuhan telah melampaui ambang toleransi fisiologi. Adanya akumulasi yang melebihi kemampuan tumbuhan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sel sel tumbuhan dan kerontokan akar yang berujung pada kematian tumbuhan (Putriarti et al., 2021). Pada konsentrasi yang tinggi tumbuhan telah mengalami titik jenuh sehingga pertumbuhan dan proses penyerapan unsur hara terhambat yang mengakibatkan terganggunya metabolisme tumbuhan (Imtiyaz & Rachmadiarti, 2021). LAS yang diberikan dalam jumlah yang tidak melebihi baku mutu dapat membantu mempercepat pertumbuhan tanaman namun pada tingkat yang lebih tinggi atau melebihi baku mutu justru dapat menghambat pertumbuhan tanaman bahkan kematian tumbuhan. Dilihat dari morfologi tumbuhan menunjukkan gejala klorosis yang ditandai dengan perubahan warna daun menjadi menguning akibat tingginya paparan LAS. Perubahan morfologi tumbuhan merupakan respon tumbuhan yang menunjukkan kemampuan adaptasi tumbuhan.

Parameter Fisika Kimia Lingkungan

Kehidupan di perairan dipengaruhi oleh kondisi fisika-kimia lingkungan karena faktor tersebut mempengaruhi laju aktivitas metabolisme, pertumbuhan, dan perkembangan organisme yang hidup di dalam air (Yusal & Hasyim, 2022). Suhu mengalami penurunan dengan kisaran 27°C - 28°C. Rentang suhu tersebut masih termasuk dalam kisaran suhu optimal bagi pertumbuhan tanaman akuatik yaitu 22°C-30°C sehingga tanaman pada perairan bisa tumbuh dengan baik (Rulitasari & Rachmadiarti, 2021). Suhu pada seluruh perlakuan sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 yaitu deviasi 3 dari kondisi awal. Penurunan suhu menunjukkan adanya proses yang dapat disebabkan oleh aktivitas biologis. Suhu yang rendah dapat menguntungkan proses remediasi karena meningkatkan aktivitas mikroorganisme tertentu yang berperan dalam degradasi kontaminan. Penurunan suhu juga dipengaruhi oleh suhu lingkungan seperti kondisi cuaca (Soheti & Marisi, 2020)

Derajat keasaman (pH) mengalami

penurunan dengan kisaran 6,99 - 7,25. pH sudah sesuai dengan baku mutu yang tertera pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 yaitu 6-9. Konsentrasi LAS yang tinggi menyebabkan pH cenderung lebih basa, namun setelah proses fitoremediasi pH menurun menuju netral. Penurunan pH pada perairan yang mengandung limbah menandakan adanya penyerapan zat kimia yang cukup besar (Rulitasari & Rachmadiarti, 2021). Adanya CO² dari respirasi tumbuhan juga mempengaruhi penurunan pH. Respirasi tumbuhan melepaskan CO² kemudian akan bereaksi dengan air membentuk asam karbonat. Dalam keadaan pH yang tinggi atau basa, asam karbonat membentuk ion karbonat dan melepas ion hidrogen. Ion hidrogen dari asam karbonat akan berikatan dengan ion OH karena kationnya terserap oleh tanaman sehingga terbentuk larutan yang bersifat netral (Ryanita, 2020).

Kadar oksigen terlarut (DO) mengalami peningkatan berkisar 5,40 mg/L - 6,17 mg/L. Seluruh perlakuan menunjukkan bahwa DO sesuai baku mutu yang tertera pada Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 dengan nilai DO > 3 mg/L. Nilai di atas 3 sudah dianggap baik dan aman bagi ekosistem perairan. Peningkatan kadar DO ini mengindikasikan bahwa proses yang berlangsung di dalam bak perlakuan atau reaktor mampu mendukung ketersediaan oksigen terlarut sehingga berpotensi menciptakan kondisi perairan yang lebih baik bagi organisme akuatik. Peningkatan kadar DO pada perairan setelah fitoremediasi menunjukkan bahwa tanaman berperan dalam mendukung laju penyerapan unsur hara dalam media tanam (Fitriana & Kuntjoro, 2021). Peningkatan DO juga didukung dari adanya proses fotosintesis tumbuhan. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi LAS yang digunakan maka semakin rendah kadar DO. Rendahnya kadar DO pada konsentrasi LAS tinggi disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan oksigen terlarut untuk proses degradasi bahan pencemar oleh mikroorganisme

Kadar BOD mengalami penurunan dengan nilai BOD yang dihasilkan berkisar 1,53 mg/L – 1,03 mg/L. Seluruh perlakuan menunjukkan bahwa nilai BOD sesuai dengan baku mutu yang tertera pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 yaitu 75 mg/L. Penurunan BOD terjadi akibat rendahnya aktivitas

penguraian bahan organik, sehingga meningkatkan ketersediaan oksigen terlarut dalam air (Fatikasari & Purnomo, 2022). Pada proses fitoremediasi, proses penurunan kontaminan merupakan kerjasama antara mikroba dengan tumbuhan. Tumbuhan berperan baik dalam mendukung penyerapan unsur hara yang ada. Tingginya aktivitas fotosintesis akan meningkatkan oksigen terlarut yang dihasilkan sehingga akan memicu kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa organik yang dapat menurunkan BOD dalam media tanam. Penurunan BOD sejalan dengan peningkatan DO. Proses fotosintesis tumbuhan juga mendukung penurunan kadar BOD dalam air. Penurunan kadar BOD setelah fitoremediasi pada air tercemar dikarenakan adanya proses penguraian zat organik maupun anorganik yang dilakukan oleh mikroorganisme jumlah zat organik maupun anorganik berkurang (Fitriana & Kuntjoro, 2020)

Penggunaan tumbuhan air dalam fitoremediasi berpengaruh terhadap kualitas air LAS detergen, ditandai dengan perubahan parameter fisika kimia lingkungan. Seluruh parameter saling berkaitan, dimana kadar LAS detergen menurun selaras dengan menurunnya suhu, pH, dan BOD serta peningkatan DO dalam air. Kondisi ini berkaitan dengan penyerapan bahan organik oleh tumbuhan sebagai suplai nutrisi untuk fotosintesis. Fotosintesis pada tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang larut dalam air sehingga dapat meningkatkan DO. DO yang tinggi akan menurunkan suhu pada perairan. Adanya tumbuhan akan menurunkan BOD disertai dengan penurunan pH. Hasil menunjukkan bahwa fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* dapat menurunkan kadar LAS detergen dalam air. Hal tersebut juga diikuti dengan penurunan suhu, pH, dan BOD serta peningkatan DO sehingga kualitas air semakin membaik.

Kesimpulan

Jenis tumbuhan *Azolla microphylla* dan *Ludwigia adscendens* sebagai fitoremediator, konsentrasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) yang berbeda dan interaksi keduanya berpengaruh terhadap kadar LAS detergen dalam air, kadar klorofil dalam daun, dan pertumbuhan (biomassa basah) tumbuhan. Tumbuhan yang paling optimal dalam menurunkan kadar LAS yaitu *Ludwigia adscendens*. Konsentrasi yang

paling optimal yaitu konsentrasi 10 ppm. Perlakuan yang paling optimal yaitu pada tumbuhan *Ludwigia adscendens* pada konsentrasi 10 ppm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini.

Referensi

- Apriliani, A., Rahmah, A., Hasyim, M. A., & Irawanto, R. (2025). Effectiveness of Hanjali plant (*Coix lacryma-jobi*) in absorbing linear alkylbenzene sulfonates (LAS) pollutants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1574(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1574/1/012018>
- Bisma, I. D. G., & Sarmo, S. (2022). Pemberdayaan Ibu-Ibu Pkk Dalam Pembuatan Detergen Ramah Lingkungan Berbahan Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Abdimas Independen*, 3(2), 95–104. <https://doi.org/10.29303/independen.v3i2.348>
- Desmarani, N., Solati, R., Kurnia, I., Margaret, P. W., Naupal, M., & Amallia, R. A. H. T. (2025). Keanekaragaman Jenis Tanaman Air Pada Ekosistem Danau Di Ogan Permata Indah (Opi) Kecamatan Rambutan, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi "SainTek"*, 2(1), 146–151. <https://conference.ut.ac.id/index.php/saintek/article/download/4971/1858/11603>
- Dharmadewi, A. A. I. M. (2020). Analisis kandungan klorofil pada beberapa jenis sayuran hijau sebagai alternatif bahan dasar food suplement. *Emasains: Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 9(2), 171–176. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.4299383>
- Dung, V. T., Anh, H. N. Van, Ngot, P. Van, & Thanh, D. T. N. (2021). Morphology, microscopic anatomy and bacterial inhibition of extracts of *Ludwigia adscendens* (L.) H. Hara plants growing in Lang Sen Wetland Reserve, Long An province, Vietnam. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 17(3), 160–170. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.17.3.0361>
- Fatiha, I. I., Firdhausi, N. F., & 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i1.14892>
- Fatikasari, R. N., & Purnomo, T. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263–272. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p263-272>
- Fitriana, N., & Kuntjoro, S. (2021). Kemampuan *Lemna minor* dalam Menurunkan Kadar Linear Alkyl Benzene Sulphonate. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(2), 109–114. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n2.p109-114>
- Fitrihidajati, H., Kustiyaningsih, E., & Rachmadiarti, F. (2020). The Ability of *Sagittaria lancifolia* as Phytoremediator on Detergent Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4), 042072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042072>
- Gulo, L. P. I. (2025). Pengaruh Deterjen Terhadap Kualitas Air Permukaan. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 1(1), 120–127. <https://sihojurnal.com/index.php/peraut/article/download/687/473>
- Imtiyaz, J. D., & Rachmadiarti, F. (2021). Kemampuan Tapak Dara Air (*Ludwigia adscendens*) sebagai Agen Fitoremediasi LAS Detergen. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(1), 51–57. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n1.p51-57>
- Kusmawati, L. D., Suprayogi, D., & Hakim, A. (2025). Acute toxicity analysis of LC50-

- 96-hour (Lethal Concentration) compound of heavy metal chromium and surfactant Linear Alkylbenzene Sulfonate (Case study: zebra fish (*Danio rerio*)). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 172–179.
<https://doi.org/10.29103/aa.v12i2.18577>
- Mildawati, R., Puri, A., Dewi, Sri Hartati, Ahmadi, H., Ardianto, Muhammad Ferry, & Erlanda, Givari Yogi. (2022). Upaya Pencegahan Pencemaran Akibat Limbah Rumah Tangga di Desa Empat Balai Kec. Kuok Kab. Kampar. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(6), 1681–1688.
<https://doi.org/10.31849/dinamisia.v6i6.11897>
- Nabila, S., Afifudin, A. F. M., & Irawanto, R. (2023). Pengaruh Pencemaran Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) dan Tembaga (Cu) terhadap Produksi Klorofil pada Tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*). *Spizaetus: Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 4(2), 176.
<https://doi.org/10.55241/spibio.v4i2.162>
- Nofrianto, N., Ratnaningsih, A. T., & Ikhwan, M. (2018). *Pendugaan potensi karbon tumbuhan bawah dan serasah di Arboretum Universitas Lancang Kuning. Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 13 (2), 53–64.
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/forestra/article/download/1568/1103>
- Nurfadilah, F., Surtikanti, H. K., & Nilawati, T. S. (2024). Pertumbuhan tanaman bayam horenzo (*Spinacia orelacea* L.) dengan pemberian nutrisi menggunakan ekoenzim. *Holistic: Journal of Tropical Agriculture Sciences*, 1(2).
<https://doi.org/10.61511/hjtas.v1i2.2024.333>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 Tentang Baku Mutu Air Limbah Dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Untuk Air Limbah Domestik (2025).
https://jdih.kemenvh.go.id/admin/storage/dukumen_hukum/68d3f18d1b3d7.pdf
- Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (2021).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- Priantoro, E. A., Suryaatmana, P., Sumiarsa, D., Widayani, Butar Butar, E. S., & Sembiring, T. (2025). Fitoremediasi Logam Berat Sistem Lahan Basah Terapung Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Chryzophogon zizanioides* (L.) Roberty) sebagai Hiperakumulator. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 26(1), 114–127.
<https://doi.org/10.55981/jtl.2025.5052>
- Putriarti, D., Mudloifah, I., Rosyidah, N. F., Zainuddin, M. P., Rachmadiarti, F., Fitrihidajati, H., & Putri, I. L. E. (2021). Kemampuan *Hydrilla verticillata* Sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Detergen. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 1(2), 1025–1035.
<https://semnas.biologi.fmipa.unp.ac.id/index.php/prosiding/article/download/294/239>
- Rachmadiarti, F., Asri, M. T., Bashri, A., Yuliani, & Pratiwi, I. A. (2020). Consortium of *Marsilea crenata* and *Ludwigia adscendens* for Linear Alkylbenzene Sulfonate Detergent Phytoremediator. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 17(3), 37–41.
<https://doi.org/10.3233/AJW200033>
- Rahman, A., Lisha, S. Y., & Fitriada, W. (2024). Efektivitas *Azolla Microphylla* dan *Eichhornia Crassipes* dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu. *Jurnal Engineering*, 6(1), 23–31.
<https://online-journal.unja.ac.id/JurnalEngineering/article/view/31488/17581>
- Rulitasari, D., & Rachmadiarti, F. (2021). Semangi Air (*Marsilea crenata*) Sebagai Agen Fitoremediasi LAS Detergen. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 9(2), 99–104.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n2.p99-104>
- Ryanita, Y. (2020). *Fitoremediasi Dengan Tanaman Air Untuk Mengolah Air Limbah Domestik*.
<https://www.academia.edu/download/96398085/352891040.pdf>
- Silviana, L., & Rachmadiarti, F. (2023). Fitoremediasi Fosfat dari Detergen Sintesis

- dengan Menggunakan Lemna minor dan Azolla microphylla. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 281–289. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n3.p281-189>
- Soheti, P., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi limbah radioaktif cair menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk menurunkan kadar torium. *Eksplorium*, 41(2), 139–150. <https://ejournal.brin.go.id/eksplorium/issue/view/805>
- Susanto, A. D., Gresiyanti, D. M., Wijaya, C. B., Mubarak, M. Z., Rachmadiarti, F., Fitrihidajati, H., & Putri, I. L. E. (2021). Kemampuan melati air (*Echinodorus palaefolius*) sebagai agen fitoremediasi Linear Alkybenzene Sulphonate (LAS) deterjen. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 1(2), 845–856. <https://semnas.biologi.fmipa.unp.ac.id/index.php/prosiding/article/download/196/260>
- Taghilou, S., Peyda, M., & Mehrasbi, M. (2023). A review on the significance of Azolla for water and wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 293, 138–149. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29528>
- Yusal, M. S., & Hasyim, A. (2022). Kajian kualitas air berdasarkan keanekaragaman meiofauna dan parameter fisika-kimia di Pesisir Losari, Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 45–57. <https://pdfs.semanticscholar.org/14f9/6b342e6e6fdc013984d61494a5a774caa243.pdf>