

Peran *Ceratophyllum demersum* dalam Bioindikasi dan Fitoremediasi Pencemaran Detergen

Nahidah Banin^{1*}, Desti Anggraeni²

¹Departemen Quality Assurance, PT. Novell Pharmaceutical Laboratories, Kabupaten Bogor, Indonesia

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nusa Bangsa, Bogor, Indonesia

* nahidahbanin5@gmail.com

Diterima: 14 Januari 2026 | Disetujui: 05 Februari 2026

ABSTRAK

Pencemaran air akibat limbah detergen rumah tangga semakin meningkat dan berdampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Komponen surfaktan utama yang terdapat di dalam detergen seperti Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) mampu menurunkan kadar oksigen terlarut serta menghambat pertumbuhan organisme akuatik. Fitoremediasi dengan memanfaatkan makrofit akuatik terendam merupakan salah satu strategi yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas *Ceratophyllum demersum* dalam mengurangi konsentrasi detergen melalui fitoremediasi dan menilai respons biologisnya sebagai bioindikator pencemaran. Pengukuran kadar surfaktan dengan metode Methylene Blue Active Substances (MBAS). Perlakuan terdiri atas tiga tingkat konsentrasi detergen, yaitu 5 ppm (P1), 10 ppm (P2), 15 ppm (P3), dan dua kontrol, yaitu kontrol air detergen tanpa tanaman (Kd konsentrasi 10 ppm), kontrol C. *demersum* tanpa air detergen (Ko). Analisis hasil pengukuran kadar surfaktan dilakukan dengan menghitung efisiensi penurunannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon fisiologis C. *demersum* terhadap pencemaran detergen ditandai dengan adanya perubahan warna, kerusakan morfologis, dan penurunan biomassa. Analisis hasil pengukuran kadar surfaktan menggambarkan bahwa perlakuan P1 (5 ppm) memiliki efisiensi penurunan paling tinggi, yaitu sebesar 87,11%, kemudian diikuti oleh P3 (15 ppm) sebesar 54,38%, dan P2 (10 ppm) sebesar 33,07%. Secara keseluruhan dapat disimpulkan, bahwa C. *demersum* terindikasi berpotensi tinggi sebagai fitoremediator alami dan indikator biologis awal pencemaran detergen di perairan.

Kata Kunci: *Ceratophyllum demersum*, fitoremediator alami, kadar surfaktan, respon biologis

The Role of *Ceratophyllum demersum* as a Bioindicator and Phytoremediator of Detergent Pollution

ABSTRACT

Water pollution caused by household detergent waste is increasing and has negatively impacted the balance of aquatic ecosystems. The main surfactant components found in detergents, such as Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS), can reduce dissolved oxygen

levels and inhibit the growth of aquatic organisms. Phytoremediation using aquatic organisms is one strategy that can be applied to address this type of pollution. This study aims to evaluate the effectiveness of *Ceratophyllum demersum* in reducing detergent concentrations through phytoremediation and to examine its biological response as a bioindicator of pollution. Surfactant levels were measured using the Methylene Blue Active Substances (MBAS) method. The experimental design consisted of three levels of detergent concentration, namely 5 ppm (P1), 10 ppm (P2), 15 ppm (P3), as well as two controls, namely a detergent solution without plants (Kd concentration 10 ppm) and a *C. demersum* control without detergent exposure (Ko). Surfactant reduction was analyzed by calculating removal efficiency. The results showed that the physiological response of *C. demersum* to detergent pollution was characterized by changes in color, morphological damage, and a decrease in biomass. The analysis of surfactant concentration revealed that treatment P1 (5 ppm) had the highest reduction efficiency, namely 87.11%, followed by P3 (15 ppm) at 54.38%, and P2 (10 ppm) at 33.07%. Overall, these findings indicate that *C. demersum* has strong potential as a natural phytoremediator and an effective biological indicator of detergent pollution in aquatic environments.

Keywords: *Ceratophyllum demersum*, natural phytoremediator, surfactant content, biological response

PENDAHULUAN

Perkembangan aktivitas rumah tangga di kawasan perkotaan dan perdesaan turut berkontribusi dalam memicu peningkatan limbah cair domestik, yang sebagian besar berasal dari penggunaan produk pembersih seperti detergen (Nugroho & Hamidi, 2025; Tang & Dirawan, 2023). Detergen merupakan bahan pembersih sintesis yang tersusun atas senyawa surfaktan anionik, seperti *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS), yang berperan mampu mengurangi tegangan permukaan air (Chen & Zheng, 2025; Fitrianiingsih *et al.*, 2025; Kurniasih & Nurhayati, 2020; Larasati *et al.*, 2021; Putri, 2024). Akan tetapi, rendahnya kemampuan biodegradasi dan sifat toksik LAS menyebabkan senyawa ini berpotensi menjadi pencemar dominan di lingkungan perairan. Berdasarkan Katadata Insight Center dan Riset Pasar Industri disampaikan bahwa nilai konsumsi detergen masyarakat di Indonesia sekitar 1.2 juta ton per tahun (Salim Saraya Indonesia, 2025). Rata-rata masyarakat menggunakan detergen tersebut untuk kebutuhan rumah tangga sebesar 50 g/hari per rumah tangga (Tang & Dirawan, 2023). Sebagian besar limbah detergen tersebut dibuang langsung ke saluran air dan sungai tanpa melalui proses pengolahan (filterisasi), sehingga berpotensi menyebabkan dampak ekologis yang serius, seperti eutrofikasi, penurunan kadar oksigen terlarut (DO), gangguan organisme akuatik, dan potensi terjadinya akumulasi bahan berbahaya (Lestari, 2022; Sari *et al.*, 2017; Sophia *et al.*, 2025).

Pada umumnya detergen merupakan bahan pembersih sintesis yang diformulasikan dari surfaktan anionik seperti LAS atau *Alkyl Sulfate* (AS), yang berperan sebagai bahan aktif utama, dan dilengkapi dengan *builder* berupa fosfat, natrium karbonat, atau zeolit untuk meningkatkan efektivitas pencucian, serta bahan aditif lainnya seperti pemutih, pewangi, dan enzim (Dutta *et al.*, 2022; Fitrianiingsih *et al.*, 2025). Ditinjau dari sifat fisik kimiawinya, detergen tergolong berbahaya karena mampu menurunkan tegangan permukaan air, bersifat toksik terhadap organisme akuatik, sukar atau lambat terurai secara hayati, dan berpotensi menimbulkan iritasi serta meningkatkan pH perairan (Arora *et al.*, 2022). Apabila limbah detergen dilepaskan ke lingkungan perairan, surfaktan yang terkandung di dalamnya dapat menghasilkan busa yang menghambat difusi oksigen, sementara kandungan fosfatnya dapat memicu eutrofikasi yang ditandai dengan pertumbuhan alga secara berlebihan, penurunan oksigen terlarut, dan pada akhirnya mengganggu keseimbangan ekosistem perairan serta mengancam keberlangsungan biota air (Sophia *et al.*, 2025).

Pendekatan konvensional dalam pengolahan limbah detergen, termasuk metode fisik dan kimia, masih dianggap kurang efektif karena membutuhkan biaya operasional yang tinggi, teknologi yang rumit, serta ketersediaannya yang belum merata, sehingga penerapannya menjadi terbatas terutama pada skala rumah tangga dan kawasan perdesaan (Matesun *et al.*, 2024; Rinilam *et al.*, 2025). Kondisi ini menuntut adanya alternatif pengendalian yang lebih praktis dan berkelanjutan, salah satunya dengan menerapkan fitoremediasi. Metode fitoremediasi merupakan teknik pemanfaatan tanaman

untuk mengurangi, menyerap, atau menstabilkan zat pencemar dalam air limbah, yang dikenal sebagai solusi ramah lingkungan, mudah diterapkan, dan memiliki biaya yang lebih ekonomis dibandingkan metode konvensional (Ghassani & Titah, 2022; Sahoo *et al.*, 2025; Sharma *et al.*, 2024).

Ceratophyllum demersum merupakan tanaman air terapung bebas yang memiliki laju pertumbuhan tinggi, tidak berakar pada substrat, dan hidup mengapung di atas perairan, sehingga mampu beradaptasi dengan baik pada berbagai kondisi lingkungan, termasuk perairan yang tercemar (Ali *et al.*, 2020; Syed *et al.*, 2018; Tamer *et al.*, 2025). Dari sisi ekologi dan fisiologi, spesies ini menunjukkan potensi fitoremediasi yang signifikan karena kemampuannya dalam menyerap dan mengakumulasi beragam zat pencemar, seperti kelebihan nutrisi (nitrat dan fosfat), logam berat, dan senyawa organik melalui jaringan daun dan batang, serta membantu proses pengendapan partikel pencemar di perairan (Mohammad & Rahi, 2025; Polechońska *et al.*, 2018; Suryani *et al.*, 2017). Di samping itu, *C. demersum* dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator kualitas perairan, karena perubahan bentuk morfologi, laju pertumbuhan, warna atau pigmentasi daun, serta parameter fisiologis seperti kadar klorofil dan aktivitas fotosintesisnya dapat menjadi indikator tingkat dan jenis pencemaran lingkungan perairan (Al-Enazi *et al.*, 2022; Cao *et al.*, 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas *C. demersum* dalam menurunkan konsentrasi detergen melalui mekanisme fitoremediasi serta menilai respons biologisnya sebagai bioindikator pencemaran perairan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan teknologi fitoremediasi alami dan mendukung upaya awal dalam pengendalian pencemaran air rumah tangga akibat limbah detergen.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama satu bulan dengan lokasi penelitian di Laboratorium Lingkungan Hidup & K3, PT. Halqilab Karya Indonesia, Sindangbarang, Bogor. Sampel berupa *C. demersum* berasal dari hasil budidaya masyarakat di daerah Kabupaten (Kab.) Bogor, dalam kondisi segar, warna hijau cerah, dan bebas dari lumut. Penelitian menggunakan metode *Methylene Blue Active Substances* (MBAS) sesuai standar SNI 06-6989.51-2005 (Putri, 2024). Parameter yang diukur terdiri atas pH, konduktivitas listrik (*Electrical Conductivity/EC*), dan kadar surfaktan. Tahapan penelitian mencakup persiapan bahan, aklimatisasi tanaman, dan proses simulasi fitoremediasi. Aklimatisasi dilakukan selama 3 (tiga) hari dalam tempat berisi air bersih rendah ppm untuk menyesuaikan diri terhadap kondisi media dan pencahayaan alami. Peralatan yang digunakan meliputi ember plastik 5 liter, spektrofotometer UV-Vis, pH meter *portable*, dan conductivity meter sedangkan bahan berupa detergen komersial. Perlakuan terdiri atas tiga tingkat konsentrasi detergen, yaitu 5 ppm (P1), 10 ppm (P2), 15 ppm (P3), dan dua kontrol yaitu kontrol air detergen tanpa tanaman (Kd konsentrasi 10 ppm) serta kontrol *C. demersum* tanpa air detergen (Ko).

Alasan penggunaan sampel *C. demersum* karena didasarkan pada karakteristik biologisnya yang lebih unggul dibandingkan beberapa tanaman air lain yang diuji. Tanaman *C. demersum* dikenal memiliki laju fotosintesis tinggi, pertumbuhan biomassa yang cepat, dan permukaan daun yang luas sehingga mampu menyediakan area adsorpsi lebih besar bagi surfaktan maupun mikroorganisme epifititik yang berperan dalam proses degradasi (Tamer *et al.*, 2025). Ditegaskan pula, bahwa adanya perbedaan luas bidang kontak ini membuat *C. demersum* lebih efisien dalam menyerap surfaktan dibanding tanaman air lain yang diuji pada fitoremediasi maupun bioindikator (Polechońska *et al.*, 2018; Satria *et al.*, 2021).

Proses perlakuan sebagai berikut, selesai dari aklimatisasi *C. demersum* dimasukkan ke dalam tempat berisi bahan pencemar detergen sesuai perlakuan. Simulasi dilakukan selama 7 hari dan dilakukan pengecekan seluruh parameter pada hari ke-0, ke-3, dan hari ke-7 untuk menilai dinamika perubahan selama proses fitoremediasi. Perubahan morfologis tanaman juga termasuk parameter yang diamati tiap hari seperti perubahan warna dan kondisi tanaman. Data dari hasil pengukuran kadar surfaktan kemudian dihitung efisiensi penurunannya dengan rumus:

$$E = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

E adalah nilai efisiensi penurunan kadar surfaktan (%), C_o adalah konsentrasi surfaktan awal, dan C_t adalah konsentrasi kadar surfaktan akhir setelah perlakuan hari ke-7.

Eksperimen dilakukan pada kondisi lingkungan yang terkontrol. Suhu air selama penelitian sesuai dengan suhu ruang yang berkisar 25-26 °C kisaran yang optimal untuk *C. demersum*. Pencahayaan diperoleh dari cahaya alami dengan fotoperiode mendekati 12 jam terang : 12 jam gelap. Intensitas tidak diukur secara kuantitatif, namun dijaga relatif konstan selama eksperimen dengan menempatkan seluruh unit percobaan pada lokasi yang sama. Selama eksperimen tidak diberikan aerasi tambahan. Media air dibiarkan dalam kondisi statis untuk merepresentasikan kondisi perairan tenang dengan pencemaran domestik, sehingga pertukaran oksigen hanya berlangsung secara alami melalui difusi udara ke air dan aktivitas fotosintesis tanaman. Data kuantitatif seperti pH, konduktivitas, dan kadar surfaktan disajikan dalam bentuk nilai rata - rata \pm standar deviasi dari tiga ulangan pada setiap perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

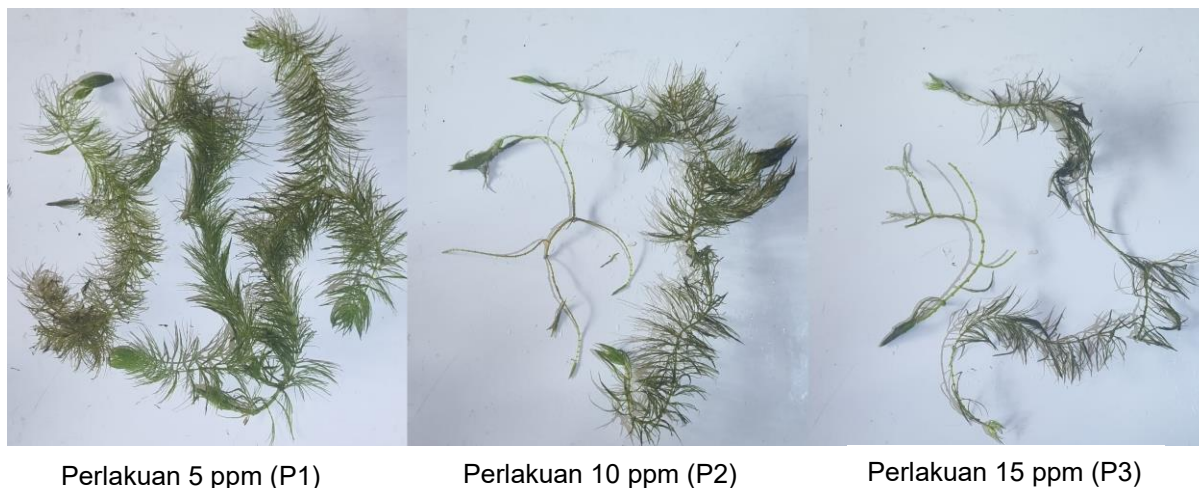
Respon Morfologis *C. demersum* terhadap Paparan Surfaktan

Ceratophyllum demersum memberikan respon morfologis yang berbeda terhadap variasi konsentrasi detergen yang diberikan. Pada perlakuan 5 ppm (P1), tanaman tampak sehat dan tidak menunjukkan gejala stres morfologis selama tujuh hari pengamatan. Warna daun tetap hijau segar, batang mengapung stabil di permukaan air, serta percabangan tumbuh normal tanpa tanda peluruhan daun (Gambar 1). Kondisi ini tidak berbeda dengan kontrol tanaman tanpa detergen (Ko) yang menandakan bahwa konsentrasi 5 ppm belum memberikan efek toksik terhadap metabolisme maupun struktur jaringan tanaman. Hasil ini menunjukkan bahwa *C. demersum* memiliki kemampuan adaptasi morfologis yang baik terhadap paparan surfaktan anionik pada konsentrasi rendah.

Pada perlakuan 10 ppm (P2) mulai terlihat perubahan morfologis sejak hari ke-4. Daun tanaman berubah menjadi hijau pucat, beberapa batang tenggelam, dan muncul daun halus yang gugur di dasar bak perlakuan (Gambar 1). Fenomena ini mengindikasikan adanya stres morfologis sedang, surfaktan mulai memengaruhi proses fotosintesis dan permeabilitas membran sel. Surfaktan seperti LAS dapat merusak lapisan lipid membran, sehingga mengganggu keseimbangan osmotik antar jaringan (Kurniasih & Nurhayati, 2020). Kondisi ini menyebabkan penurunan aktivitas enzim fotosintetik dan gangguan penyerapan nutrisi yang tercermin dari perubahan warna daun dan peluruhan jaringan.

Respon paling ekstrem ditemukan pada perlakuan 15 ppm (P3). Sejak hari ke-3, tanaman mulai pucat kekuningan, banyak bagian tenggelam, dan terjadi peluruhan daun secara masif hingga hari ke-7. Sebagian besar biomassa tanaman mengendap di dasar bak perlakuan dengan warna kehijauan kusam (Gambar 1). Gejala ini menunjukkan stres toksik berat akibat paparan surfaktan dalam konsentrasi tinggi. Menurut Polechońska *et al.* (2018), paparan surfaktan anionik dapat menyebabkan kerusakan struktur kloroplas dan menurunkan kapasitas fotosintesis, sehingga tanaman kehilangan kemampuan memproduksi energi dan mempertahankan integritas jaringan.

Berdasarkan pola respon tanaman *C. demersum* pada konsentrasi detergen yang semakin tinggi maka semakin besar tingkat stres morfologis yang dialami tanaman. Pada konsentrasi rendah (≤ 5 ppm), *C. demersum* masih dapat beradaptasi secara morfologis sedangkan pada konsentrasi tinggi (≥ 5 ppm) terjadi penurunan fungsi fotosintesis, peluruhan jaringan, dan perubahan fisiologis yang jelas. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sulaiman *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa *C. demersum* memiliki toleransi tinggi terhadap pencemar organik pada rentang rendah dan berpotensi digunakan sebagai bioindikator sensitif terhadap paparan surfaktan di lingkungan perairan.



Gambar 1. Perubahan fisiologis *C. demersum* pada hari ke-7

Interaksi pH dan Konduktivitas Listrik terhadap Konsentrasi Detergen

Parameter yang dianalisis yang meliputi pH dan konduktivitas listrik (EC) menunjukkan pola perubahan yang konsisten seiring meningkatnya konsentrasi detergen. Pada perlakuan 5 ppm (P1) nilai pH meningkat dari 5,4 di hari pertama menjadi 7,0 di hari ke-7 (Tabel 1), menandakan bahwa aktivitas fotosintesis tanaman *C. demersum* masih berlangsung optimal. Kenaikan pH ini menunjukkan proses penyerapan ion H^+ oleh tanaman dan mikroorganisme epifitik selama metabolisme sehingga air menjadi lebih netral. Menurut Apriyani (2017), peningkatan pH selama proses fitoremediasi merupakan indikasi aktivitas biologis yang efisien, tanaman masih mampu menstabilkan kondisi kimia media. Nilai konduktivitas listrik (EC) pada P1 juga relatif stabil yaitu dari 113 $\mu S/cm$ di hari pertama menjadi 123 $\mu S/cm$ di hari ke-7 (Tabel 1), menunjukkan bahwa tidak terjadi pelepasan ion berlebih dari jaringan tanaman. Kondisi ini memperkuat bahwa pada konsentrasi rendah, *C. demersum* mampu menjaga keseimbangan kimia media melalui mekanisme biologis dan fisiologis yang adaptif.

Sedikit berbeda yang terjadi pada perlakuan 10 ppm (P2) yang menunjukkan pola peningkatan pH dan konduktivitas yang lebih fluktuatif. Nilai pH meningkat dari 5,5 menjadi 7,0 (Tabel 1) sedangkan konduktivitas naik di hari pertama dari 138 $\mu S/cm$ menjadi 156 $\mu S/cm$ di hari ke-7 (Tabel 1). Kenaikan nilai EC yang lebih tajam mengindikasikan adanya pelepasan elektrolit dari jaringan tanaman yang mulai rusak akibat paparan surfaktan. Hal ini diperkuat oleh temuan Ghassani & Titah (2022), yang menjelaskan bahwa surfaktan anionik dapat meningkatkan kandungan ion terlarut dalam air melalui degradasi jaringan tanaman dan proses oksidasi senyawa organik. Dengan demikian, meskipun tanaman masih mampu melakukan fotosintesis terbatas, namun aktivitas fisiologisnya mulai terganggu oleh perubahan komposisi ionik media.

Kondisi pada perlakuan 15 ppm (P3), nilai pH medianya mengalami lonjakan kenaikan secara spontan dalam tiap harinya mulai dari nilai pH sebesar 5,4 di hari pertama langsung ke 6,1 di hari ke-2 dan menjadi pH 7,1 di hari ke-7 (Tabel 1), sementara konduktivitas meningkat drastis hingga 190 $\mu S/cm$ pada hari ke-7 dari sebelumnya nilai konduktivitasnya 161 $\mu S/cm$ pada hari pertama (Tabel 1). Peningkatan pH dan EC yang tinggi mencerminkan akumulasi ion-ion hasil dekomposisi jaringan tanaman dan sisa surfaktan yang tidak terserap. Menurut Polechońska *et al.* (2018), surfaktan anionik pada konsentrasi tinggi dapat menghambat respirasi seluler dan menurunkan efisiensi fitoremediasi, sehingga bahan pencemar terakumulasi di air.

Sebagai pembanding, kontrol air detergen tanpa tanaman (Kd) menunjukkan fluktuasi pH yang tidak teratur dari hari pertama hingga hari terakhir yaitu dari 5,8 menjadi 7,4 (Tabel 1) dengan konduktivitas relatif tinggi, kondisi ini menandakan tidak adanya mekanisme penetral biologis. Sebaliknya, kontrol tanaman tanpa detergen (Ko) mempertahankan kestabilan pH pada kisaran 6,5–7,0 (Tabel 1) dan konduktivitas rendah dari hari pertama hingga hari ke-7 yaitu dari 82 $\mu S/cm$ menjadi 89 $\mu S/cm$, yang mencerminkan keseimbangan alami antara aktivitas fotosintesis dan respirasi.

Rangkuman dari keseluruhan hasil pengukuran parameter ini dapat disampaikan bahwa keberadaan *C. demersum* berperan penting dalam menstabilkan parameter kimia air melalui proses fotosintesis dan penyerapan ion, terutama pada konsentrasi rendah (≤ 5 ppm). Namun, pada konsentrasi di atas 5 ppm kemampuan ini mulai menurun karena kerusakan fisiologis tanaman yang menyebabkan peningkatan ion terlarut dan gangguan keseimbangan pH. Temuan ini mendukung peran *C. demersum* sebagai fitoremediator alami yang efektif dalam menjaga kestabilan lingkungan perairan yang tercemar surfaktan ringan.

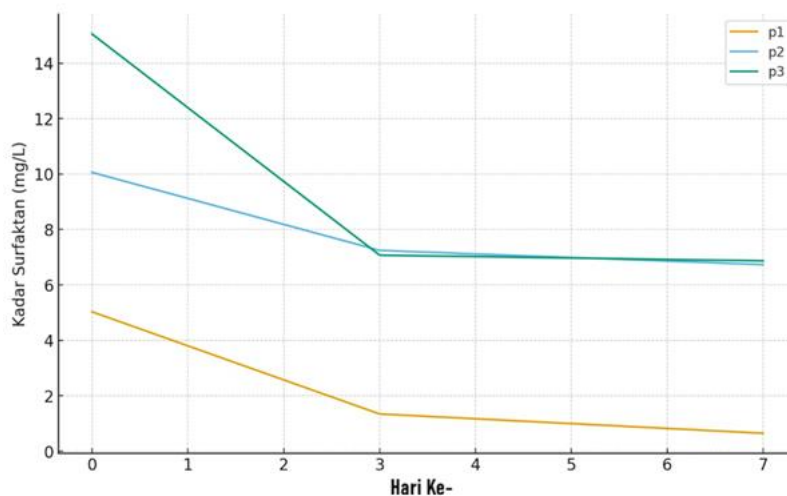
Tabel 1. Perubahan pH dan konduktivitas listrik pada berbagai konsentrasi detergen selama 7 hari pengamatan.

Perlakuan	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
pH							
P1	5,4	5,8	6,2	7,1	7,0	7,0	7,0
P2	5,5	5,9	6,2	6,9	6,8	6,8	7,0
P3	5,4	6,1	6,2	6,7	6,9	6,8	7,1
Kd	5,8	5,2	6,4	7,5	7,7	7,5	7,4
Ko	6,5	6,2	7,0	7,0	7,2	7,1	7,0
Konduktivitas Listrik ($\mu\text{S/cm}$)							
P1	113	115	120	121	128	122	123
P2	138	143	152	151	158	158	156
P3	161	173	185	185	196	190	190
Kd	141	143	143	156	146	145	145
Ko	82	80	83	94	89	87	89

Analisis Kadar Surfaktan pada Tiga Jenis Perlakuan

Gambar 2 menunjukkan terjadinya perubahan kadar surfaktan pada tiga perlakuan yaitu P1 (5 ppm), P2 (10 ppm), P3 (15 ppm) dalam 7 hari, pengukuran dilakukan pada hari ke-0, hari ke-3, hari ke-7 sehingga memberikan gambaran tentang efektivitas *C. demersum* dalam menurunkan surfaktan. Pada perlakuan P1 menunjukkan kadar surfaktan turun dari 5,031 mg/L di hari ke-0 menjadi 1,345 mg/L di hari ke-3 dan mencapai 0,649 mg/L di hari ke-7 (Gambar 2). Hal ini mengindikasikan adanya aktivitas penurunan yang sangat tajam dan konsisten, yang berarti telah terjadi efisiensi tinggi fitoremediasi pada konsentrasi rendah. Kondisi ini sesuai yang disampaikan oleh Lupitasari & Kusumaningtyas (2020). Kondisi fisiologis tanaman pada perlakuan ini juga tetap sehat, ditandai oleh daun yang hijau dan percabangan normal sehingga mendukung mekanisme penyerapan dan metabolisme surfaktan oleh tanaman dan komunitas mikroorganisme epifitiknya (Ghassani & Titah, 2022).

Pada perlakuan P2 menggambarkan bahwa kadar surfaktan mengalami penurunan dari 10,060 mg/L di hari ke-0 menjadi 7,245 mg/L di hari ke-3 hingga mencapai 6,733 mg/L di hari ke-7 (Gambar 2). Meskipun terjadi penurunan namun laju penurunan lebih lambat dibanding perlakuan P1 dan respon morfologis tanaman menunjukkan tanda stres di kategori sedang yaitu perubahan warna daun menjadi hijau pucat, sebagian batang tenggelam, dan peluruhan jaringan halus sejak hari ke-4 (Gambar 1). Perilaku ini dapat dijelaskan secara morfologis, surfaktan pada konsentrasi menengah mulai mengganggu permeabilitas membran dan fungsi kloroplas sehingga menurunkan laju fotosintesis dan kapasitas akumulasi/pengikatan surfaktan (Handayani, 2020). Kondisi pH dan konduktivitas (EC) yang lebih fluktuatif pada P2 dibanding P1 juga menguatkan bahwa terjadi gangguan metabolik yang menurunkan efektivitas fitoremediasi (Kustiyansingih & Irawanto, 2020).



Gambar 2. Hasil pengukuran kadar surfaktan pada tiga perlakuan (P1=5 ppm, P2=10 ppm, P3=15 ppm) per hari

Perlakuan P3 (15 ppm) menunjukkan bahwa kadar surfaktan dari 15,053 mg/L di hari ke-0 menurun menjadi 7,074 mg/L di hari ke-3 dan mencapai 6,868 mg/L di hari ke-7 (Gambar 2). Penurunan pada fase awal menuju hari ke-3 relatif besar, namun pengurangan selanjutnya melambat dan tidak mendekati kadar rendah sebagaimana pada perlakuan P1 (5 ppm). Hal ini berkaitan erat dengan gejala stres berat pada tanaman, perubahan warna yang menjadi kekuningan, peluruhan daun masif, dan pengendapan biomassa ke dasar tempat mencerminkan kerusakan jaringan dan menurunnya kapasitas fotosintesis serta penyerapan. Kenaikan konduktivitas yang tajam pada P3 hingga >185 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menunjukkan akumulasi ion hasil dekomposisi jaringan serta sisa surfaktan yang tidak terserap sehingga efektivitas fitoremediasi menurun pada konsentrasi tinggi. Kondisi ini sesuai yang disampaikan oleh (Basri & Hamzah, 2016). Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa hari ke-3 merupakan titik kritis penurunan surfaktan, di mana laju fitoremediasi berlangsung paling cepat pada seluruh perlakuan. Namun, hanya P1 yang mempertahankan efektivitas hingga hari ke-7. Pada P2 dan P3 kondisi morfologis yang semakin memburuk membatasi laju fitoremediasi. Kondisi serupa disampaikan pula oleh Lupitasari & Kusumaningtyas (2020).

Selain tiga perlakuan utama, penelitian ini juga menyertakan kontrol detergen tanpa tanaman (Kd) untuk memastikan bahwa perubahan kadar surfaktan benar-benar disebabkan oleh aktivitas *C. demersum* dan bukan oleh proses alami dalam media. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada perlakuan Kd menunjukkan kadar surfaktan hanya mengalami penurunan sangat kecil, yaitu dari 10,042 mg/L pada hari ke-0 menjadi 9,615 mg/L pada hari ke-3 dan 9,189 mg/L pada hari ke-7 (Gambar 2). Penurunan yang relatif sedikit ini menggambarkan bahwa tanpa keberadaan tanaman, surfaktan tidak mengalami degradasi signifikan dan tetap berada pada konsentrasi tinggi. Fluktuasi pH dan konduktivitas pada perlakuan Kd yang berubah tidak stabil mengindikasikan bahwa tidak terdapat mekanisme biologis yang mampu menstabilkan media berbeda dengan perlakuan yang menggunakan tanaman. Temuan ini memperkuat pendapat bahwa penurunan surfaktan pada perlakuan P1, P2, dan P3 terutama terjadi akibat mekanisme fitoremediasi oleh *C. demersum*. Tanaman ini melakukan perannya melalui proses penyerapan, adsorpsi, dan interaksi dengan mikroorganisme epifitik yang tidak terjadi pada kontrol. Dengan demikian, keberadaan perlakuan Kd menjadi pembanding penting (*baseline*) yang membuktikan bahwa penurunan surfaktan yang signifikan pada perlakuan dengan tanaman benar-benar merupakan hasil dari aktivitas biologis *C. demersum*, bukan karena degradasi kimia atau fisik spontan. Hasil ini sesuai dengan konsep dasar fitoremediasi, di mana kontrol tanpa tanaman digunakan untuk memastikan validitas perbedaan antar perlakuan (Sulaiman *et al.*, 2023).

Evaluasi Efisiensi Fitoremediasi *C. demersum* terhadap Penurunan Surfaktan

Respon *C. demersum* terhadap surfaktan anionik menunjukkan pola yang sangat dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi pencemar. Berdasarkan perhitungan menggunakan selisih konsentrasi surfaktan pada hari ke-0 dan hari ke-7, diperoleh bahwa perlakuan P1 (5 ppm) memiliki efisiensi penurunan paling tinggi, yaitu sebesar 87,11% (Tabel 2). Tingginya efisiensi ini sejalan dengan kondisi fisiologis tanaman yang tetap stabil dan tidak menunjukkan gejala stres selama proses fitoremediasi. Daun yang tetap hijau, batang yang kokoh, serta tidak adanya peluruhan jaringan mendukung kemampuan tanaman dalam melakukan proses penyerapan, akumulasi, dan degradasi surfaktan secara optimal. Stabilitas pH dan konduktivitas (EC) pada perlakuan ini juga memperlihatkan bahwa aktivitas biologis tanaman berlangsung baik sehingga mekanisme penurunan surfaktan dapat terjadi secara efektif.

Tabel 2. Efisiensi penurunan kadar surfaktan

Perlakuan	C ₀ (mg/L)	C _t (mg/L)	Efisiensi (%)
P1	5,031 mg/L	0,649 mg/L	87,11%
P2	10,060 mg/L	6,733 mg/L	33,07%
P3	15,053 mg/L	6,868 mg/L	54,38%

Pada perlakuan P2 (10 ppm) efisiensi fitoremediasi menurun drastis menjadi 33,07% (Tabel 2), menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi surfaktan mulai menimbulkan dampak signifikan terhadap fisiologi tanaman. Gejala stres seperti ditunjukkan oleh warna daun hijau pucat, batang tenggelam, peluruhan daun halus muncul sejak hari ke-4 dan menjadi faktor utama menurunnya efektivitas penyerapan surfaktan. Secara kimiawi, peningkatan konduktivitas pada perlakuan P2 mengindikasikan adanya pelepasan ion dari jaringan tanaman yang mulai rusak sehingga mengganggu proses metabolisme yang berperan dalam fitoremediasi. Surfaktan anionik pada konsentrasi sedang dapat mengganggu membran sel dan menurunkan aktivitas fotosintetik, sehingga proses fitoremediasi tidak dapat berjalan secara maksimal.

Pada perlakuan P3 (15 ppm), efisiensi yang diperoleh sebesar 54,38% (Tabel 2), yang tampak lebih tinggi dibanding P2 namun efektivitas ini terutama terjadi pada fase awal yaitu di hari ke-0 hingga hari ke-3 sebelum tanaman mengalami kerusakan fisiologis berat. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman mampu melakukan penyerapan cepat pada awal paparan namun kapasitas tersebut tidak dapat dipertahankan karena toksisitas surfaktan yang tinggi menyebabkan kerusakan kloroplas, gangguan metabolisme, serta peluruhan biomassa secara masif. Peningkatan konduktivitas yang sangat mencolok pada P3 menguatkan indikasi bahwa jaringan tanaman mengalami dekomposisi sehingga kemampuan penyerapan surfaktan melemah secara signifikan setelah hari ke-3. Pola ini sejalan dengan laporan bahwa paparan polutan organik berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan struktural pada tanaman akuatik sehingga memengaruhi efisiensi proses fitoremediasi (Polechońska *et al.*, 2018).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kemampuan *Ceratophyllum demersum* sebagai bioindikator dan agen fitoremediasi terhadap air tercemar detergen disimpulkan bahwa *C. demersum* efektif sebagai fitoremediator pada konsentrasi surfaktan rendah dengan nilai efisiensi sebesar 87,11%. *C. demersum* juga memiliki toleransi tinggi terhadap pencemar organik khususnya pada rentang rendah dan berpotensi digunakan sebagai bioindikator sensitif terhadap paparan surfaktan di lingkungan perairan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak Laboratorium Lingkungan Hidup & K3, PT. Halqilab Karya Indonesia, Sindangbarang, Bogor atas dukungan fasilitas dan bantuan teknis dalam

melakukan analisis. Begitu pula ucapan terima kasih disampaikan kepada masyarakat di Kab. Bogor yang telah memfasilitasi pengadaan sampel untuk riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Enazi, M. S., Lazim, I. I., & Mohamed, S. J. (2022). Using *Ceratophyllum demersum* as a bioindicator for PAHs pollution in Hor Al-Azim, Southern Iraq. *International Journal of Aquatic Biology*, 10(2), 111–118.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I., Yavaş, İ., Ünay, A., Abdel-DAIM, M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., & Kalderis, D. (2020). Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A Review. *Sustainability*, 12(5), 1927. <https://doi.org/10.3390/su12051927>
- Apriyani, N. (2017). Penurunan kadar surfaktan dan sulfat dalam limbah laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44. <https://doi.org/10.33084/mitl.v2i1.132>
- Arora, J., Ranjan, A., Chauhan, A., Biswas, R., Rajput, V. D., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Minkina, T., & Jindal, T. (2022). Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation. *Journal of Applied Microbiology*, 133(3), 1229–1244. <https://doi.org/10.1111/jam.15631>
- Basri, M., & Hamzah, A. (2016). Analisis kemampuan tanaman air dalam mereduksi bahan pencemar pada air limbah domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 75–84.
- Cao, Z.-X., Jiang, X.-Y., Wang, X.-B., Tong, D.-L., & Pan, J. (2025). Effects of microplastics on the growth and physiology characteristics of *Ceratophyllum demersum* and *Hydrilla verticillata*. *Huan Jing Ke Xue*, 46(11), 6930–6939.
- Chen, H., & Zheng, Y. (2025). A comprehensive review on the sources, environmental behavior, and degradation of alkylphenol ethoxylates and their metabolites in surface water and soils. *Journal of Environmental Quality*, 54(6), 1631–1652. <https://doi.org/10.1002/jeq2.70059>
- Dutta, D., Gaur, N., Barman, P., Ghosh, D., Dubey, R., & Dwivedi, S. K. (2022). A Review on the degradation of ionic and non ionic surfactants in water. *Defence Life Science Journal*, 7(2), 103–117. <https://doi.org/10.14429/dlsj.7.17309>
- Fitrianiingsih, G., Adzillah, W. N., & Ratnawati, K. (2025). Evaluasi efisiensi adsorpsi chemical oxygen demand dan fosfat pada limbah laundry menggunakan karbon aktif tempurung kelapa. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 16(2), 16–22.
- Ghassani, R. N., & Titah, H. S. (2022). Kemampuan tanaman air dalam fitoremediasi limbah deterjen domestik menggunakan sistem batch. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), A35–A40.
- Handayani, L. (2020). Pengaruh kandungan seterjen pada limbah rumah tangga terhadap kelangsungan hidup udang galah (*Macrobracium rosenbergii*). *Sebatik*, 24(1), 75–80. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v24i1.937>
- Kurniasih, T., & Nurhayati, E. (2020). Potensi tanaman air sebagai bioindikator kualitas perairan tercemar detergen. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 7(1), 22–30.
- Kustiyaniingsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) dalam fitoremediasi deterjen dengan tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.18>
- Larasati, N. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Zainuri, M., & Kunarso, K. (2021). Kandungan pencemar deterjen dan kualitas air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9470>
- Lestari, A. D. (2022). Pengaruh pencemaran limbah deterjen terhadap ekosistem perairan. *Jurnal Sains Indonesia (JSI)*, 3(1), 24–36.
- Lupitasari, D., & Kusumaningtyas, V. A. (2020). Pengaruh cahaya dan suhu berdasarkan karakter fotosintesis *Ceratophyllum demersum* sebagai agen fitoremediasi. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(1), 33–38. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i1.53>
- Matesun, J., Petrik, L., Musvoto, E., Ayinde, W., & Ikumi, D. (2024). Limitations of wastewater treatment plants in removing trace anthropogenic biomarkers and future directions: A review.

- Ecotoxicology and Environmental Safety*, 281, 116610.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116610>
- Mohammad, A. K., & Rahi, D. J. (2025). The role of *Ceratophyllum demersum* in heavy metal adsorption: Analysis of mechanisms, efficiency, and environmental impacts review. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, 33(2), 18–38.
- Nugroho, H. W., & Hamidi, K. (2025). Reka cipta alat filtrasi alami menggunakan bahan recycle sebagai alat penyaring air limbah rumah tangga. *Journal of Green Engineering for Sustainability*, 1(1), 25–31.
- Polechońska, L., Ciereszko, A., & Kozłowska, A. (2018). Bioindication and phytoremediation potential of aquatic plants in detergent-polluted water. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9723–9733.
- Putri, F. E. (2024). Penentuan kadar surfaktan pada sampel air permukaan dengan metode MBAS (Methylene Blue Active Substances) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 27899–27906.
- Rinilam, A., Fatimura, M., Masriatini, R., & Fitriyanti, R. (2025). Pengolahan air limbah laundry untuk menurunkan parameter pencemar menggunakan metode foto-fenton. *Jurnal Integrasi Proses*, 14(1), 99–105. <https://doi.org/10.62870/jip.v14i1.31271>
- Sahoo, A., Chhotaray, S. P., Meher, I., Behera, S. P., Pal, A., Meena, M., Swapnil, P., Yadav, A., & Bhardwaj, R. (2025). Phytoremediation for a sustainable future: Integrating plant based strategies in soil and wastewater remediation. *Bioresource Technology Reports*, 31, 102266. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102266>
- Salim Saraya Indonesia. (2025, March 18). (*xyzonemedia.com*) *Happy kijang: deterjen ramah lingkungan, simbol kerja sama Indonesia dan Jepang*. Salim Saraya Indonesia. <https://www.salimsaraya.co.id/news/detail/xyzonemediacom-happy-kijang-deterjen-ramah-lingkungan-simbol-kerja-sama-indonesia-dan-jepang>
- Sari, D. A., Haeruddin, H., & Rudiyanti, S. (2017). Analisis beban pencemaran deterjen dan indeks kualitas air di Sungai Banjir kanal Barat, Semarang dan huungannya dengan kelimpahan fitoplankton. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 5(4), 353–362. <https://doi.org/10.14710/marj.v5i4.14635>
- Satria, A., Wicaksono, A., & Lestari, P. (2021). Efektivitas Hydrilla verticillata dalam menurunkan kandungan pencemar pada air limbah domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 234–242.
- Sharma, M., Rawat, S., & Rautela, A. (2024). Phytoremediation in sustainable wastewater management: an eco-friendly review of current techniques and future prospects. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(9), 1946–1975. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.427>
- Sopia, N., Zalmita, N., Yulianti, F., & Furqan, M. A. (2025). Dampak pencemaran deterjen di Sungai Irigasi Kutatinggi akibat aktivitas manusia. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9(2), 22523–22531.
- Sulaiman, A., Nilandita, W., & Suprayogi, D. (2023). Fitoremediasi memanfaatkan tanaman Coontail untuk menurunkan kadar timbal (Pb) menggunakan sistem batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 9–18. <https://doi.org/10.31315/jiilk.v6i1.10190>
- Suryani, Y., Cahyanto, T., Sudjarwo, T., Panjaitan, D. V., Paujiah, E., & Jaenudin, M. (2017). Chromium phytoremediation of tannery wastewater using *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail). *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 9(2), 233–239. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v9i2.8716>
- Syed, I., Fatima, H., Mohammed, A., & Siddiqui, M. A. (2018). *Ceratophyllum demersum* a free-floating aquatic plant: A review. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, 6(02), 10–17. <https://doi.org/10.30750/ijpbr.6.2.3>
- Tamer, F. Z., Zaidi, H., Nasri, H., Lvova, L., Nouri, N., Sedrati, F., Amrani, A., Beldjoudi, N., & Li, X. (2025). Bioremediation of contaminated water: The potential of aquatic plants *Ceratophyllum demersum* and *Pistia stratiotes* against toxic bloom. *Toxins*, 17(10), 490. <https://doi.org/10.3390/toxins17100490>

Tang, Muh., & Dirawan, G. D. (2023). Pengaruh pengetahuan, sikap dan motivasi masyarakat terhadap perilaku penggunaan detergen. *UNM Environmental Journals*, 6(3), 1–10.