

**EFEKTIVITAS TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*)
DALAM MENGABSORBSI ZAT PENCEMAR *LINEAR ALKYL BENZENE*
SULFONATES (LAS) DAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)**

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

SALSA NABILA

H01219012

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Salsa Nabila

NIM : H01219012

Program Studi : Biologi

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul “EFEKTIVITAS TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI ZAT PENCEMAR *LINEAR ALKYL BENZENE SULFONATES* (LAS) DAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)”. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 4 Januari 2023

Yang menyatakan,



Salsa Nabila

NIM. H01219012

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi

EFEKTIVITAS TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM
MENGABSORBSI ZAT PENCEMAR *LINEAR ALKYL BENZENE*
SULFONATES (LAS) DAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)

Diajukan oleh:

Salsa Nabila

NIM: H01219012

Telah diperiksa dan disetujui
di Surabaya, 4 Januari 2023

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping



Eva Agustina, M.Si.

NIP. 198908302014032008



Risa Purnamasari, S.Si., M.Si.

NIP. 201409002

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Salsa Nabila ini telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi di
Surabaya, 23 Desember 2022

Mengesahkan,
Dewan Penguji

Penguji I



Eva Agustina, M.Si.

NIP. 198908302014032008

Penguji II



Risa Purnamasari, S.Si., M.Si.

NIP. 201409002

Penguji III



Rony Irawanto, S.Si., M.T.

NIP. 197801082006041005

Penguji IV



Drs. Abdul Manan, M.Pd.I

NIP. 197006101998031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Ampel Surabaya



Depul Hamdani, M.Pd.

NIP. 196507312000031002



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Salsa Nabila
NIM : H01219012
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ BIOLOGI
E-mail address : nabilaasalsaa28@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

EFEKTIVITAS TANAMAN DAUN TOMBAK (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORBSI ZAT PENCEMAR *LINEAR ALKYL BENZENE SULFONATES* (LAS) DAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu).

Beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 4 Januari 2023

(Salsa Nabila)

ABSTRAK

EFEKTIVITAS TANAMAN DAUN TONJOL (*Sagittaria lancifolia*) DALAM MENGABSORPSI ZAT PENCEMAR *LINEAR ALKYL*BENZENE *SULFONATES* (LAS) DAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)

Krisis air bersih di Indonesia belakangan ini menjadi salah satu permasalahan krusial. Pasalnya, air bersih yang sesuai standar mutu masih menjadi hal yang langka. Hal tersebut dipicu oleh banyaknya air yang tercemar limbah dari hasil aktivitas manusia, baik limbah rumah tangga seperti LAS maupun limbah industri seperti logam Cu. Adapun cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran air, yakni dengan fitoremediasi. Salah satu tanaman akuatik yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi ialah tanaman *Sagittaria lancifolia*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam mengabsorpsi LAS dan logam Cu dengan beberapa variasi konsentrasi serta mengetahui respon adanya paparan LAS dan logam Cu terhadap pertumbuhan tanaman *Sagittaria lancifolia*. Metode yang digunakan ialah metode eksperimental dengan 7 perlakuan dan 3 kali ulangan (kontrol; LAS 10 mg/L; LAS 30 mg/L; LAS 50 mg/L; LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L dan LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L) dengan waktu detensi selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *Sagittaria lancifolia* terbukti efektif dalam mengabsorpsi LAS dan logam Cu dibuktikan dengan nilai daya penyisihan LAS mengalami penurunan sebesar 96% pada konsentrasi LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L dan logam Cu mengalami penurunan sebesar 72% pada konsentrasi LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L. Sedangkan nilai efektivitas penyerapan logam Cu paling optimal terdapat pada konsentrasi LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L yakni sebesar 59%. Selain itu, adanya paparan LAS dan logam Cu pada tiap-tiap konsentrasi tidak memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan dan morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia*.

Kata kunci: Fitoremediasi, daun tonjol (*Sagittaria lancifolia*), *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS), logam berat, tembaga (Cu).

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF LANCELEAF ARROWHEAD (*Sagittaria lancifolia*) IN ABSORBING POLLUTANTS *LINEAR ALKYL*BENZENE *SULFONATES* (LAS) AND HEAVY METAL COPPER (Cu)

The clean water crisis in Indonesia has recently become one of the crucial problems. The reason is, clean water that meets quality standards is still a rare thing. This was triggered by the large amount of water polluted by waste from human activities, both household waste such as LAS and industrial waste such as Cu metal. The way that can be done to overcome water pollution, namely with phytoremediation. One of the aquatic plants that has the potential as a phytoremediation agent is the *Sagittaria lancifolia* plant. This study aims to examine the ability of *Sagittaria lancifolia* plants to absorb LAS and Cu metal with several concentration variations and to determine the response of LAS and Cu metal exposure to the growth of *Sagittaria lancifolia* plants. The method used is experimental method with 7 treatments and 3 repetitions (control; LAS 10 mg/L; LAS 30 mg/L; LAS 50 mg/L; LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L and LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L) with a detention time of 4 weeks. The results showed that the *Sagittaria lancifolia* plant proved effective in absorbing LAS and Cu metal as evidenced by the LAS removal power value decreased by 96% at a concentration of 10 mg/L LAS + Cu 3 mg/L and Cu metal decreased by 72% at a concentration of LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L. Meanwhile, the most optimal value for the absorption of Cu metal was at a concentration of LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L, which was 59%. In addition, exposure to LAS and Cu metal at each concentration had no effect on the growth and morphology of *Sagittaria lancifolia* plants.

Keywords: Phytoremediation, lanceleaf arrowhead (*Sagittaria lancifolia*), *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS), heavy metal, copper (Cu).

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Judul.....	ii
Halaman Persetujuan.....	iii
Lembar Pengesahan	iv
Halaman Pernyataan Keaslian Karya Ilmiah	v
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi	vi
Kata Pengantar	viii
Abstrak	x
Abstract	xi
Daftar Isi.....	xii
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Tujuan Penelitian.....	13
1.4 Manfaat Penelitian.....	14
1.5 Batasan Penelitian	14
BAB II KAJIAN PUSTAKA	15
2.1 Pencemaran Air	15
2.2 <i>Linear Alkylbenzene Sulfonates</i> (LAS)	17
2.3 Logam Berat Tembaga (Cu).....	19
2.4 Fitoremediasi	20
2.4.1 Definisi Fitoremediasi	20
2.4.2 Mekanisme Fitoremediasi	21
2.5 Tanaman Daun Tombak (<i>Sagittaria lancifolia</i>)	24
2.6 Mekanisme Absorpsi oleh Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	26
2.6.1 Absorpsi LAS oleh Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	26
2.6.2 Absorpsi Logam Berat Cu oleh Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	28
2.7 Metode MBAS (<i>Methylen Blue Active Surfactant</i>).....	30
2.8 Spektrofotometri UV-Vis	30

2.8.1 Instrumen Spektrofotometer Uv-Vis	30
2.8.2 Hukum <i>Lambert Beer</i>	32
2.9 <i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)</i>	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	37
3.1 Rancangan Penelitian	37
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	39
3.4 Variabel Penelitian	40
3.5 Prosedur Penelitian.....	40
3.6 Analisis Data	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Parameter Kualitas Air	51
4.2 Kemampuan Absorpsi Tanaman	59
4.3 Respon Pertumbuhan Tanaman.....	67
BAB V PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	96



 UIN SUNAN AMPEL

 S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen.....	37
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian.....	38
Tabel 4.1 Suhu Media (°C).....	52
Tabel 4.2 pH.....	54
Tabel 4.3 TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>).....	56
Tabel 4.4 Kadar LAS dalam Media.....	60
Tabel 4.5 Daya Penyisihan.....	65
Tabel 4.6 Efektivitas Penyerapan.....	66
Tabel 4.7 Jumlah Daun.....	68
Tabel 4.8 Perubahan Morfologi Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	69
Tabel 4.9 Biomassa Tanaman.....	72



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Senyawa LAS	18
Gambar 2.2 Mekanisme Fitoremediasi pada Tanaman.....	22
Gambar 2.3 Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	25
Gambar 2.4 Mekanisme Sel Tanaman Terhadap Detoksifikasi Logam	29
Gambar 2.5 Instrumen Spektrofotometer Uv-Vis	31
Gambar 2.6 Instrumen <i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)</i>	35
Gambar 4.1 Grafik Nilai COD	58
Gambar 4.2 Grafik Kadar Logam Cu dalam Media dan Tanaman	63
Gambar 4.3 Klorosis pada Daun	70
Gambar 4.4 Nekrosis pada Daun	70
Gambar 4.5 Daun Kering dan Mati.....	70



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Pembuatan Larutan Kerja.....	96
Lampiran 2 Analisis COD.....	98
Lampiran 3 Analisis LAS dan Logam Cu.....	100
Lampiran 4 Morfologi Tanaman <i>Sagittaria lancifolia</i>	110



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis air bersih di Indonesia belakangan ini menjadi salah satu permasalahan krusial yang turut menjadi perhatian. Pasalnya, dalam pernyataan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 yang telah dikeluarkan oleh Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional tahun 2019, air bersih yang sesuai dengan standar mutu masih menjadi suatu hal yang langka hingga krisis. Hal tersebut dipicu oleh beberapa faktor salah satunya ialah banyaknya air yang tercemar berbagai jenis limbah dari hasil aktivitas manusia (Harmayani & Konsukartha, 2007). Dalam hadis riwayat Bukhari Muslim, Rasulullah SAW melarang sahabatnya mencemari sumber air, ditekankan pula atas kencing di air yang tidak mengalir terlebih lagi air tersebut digunakan oleh masyarakat setempat. Bentuk pencemaran air saat ini tidak hanya berupa air kencing ataupun hajat manusia lainnya, melainkan limbah rumah tangga dan limbah industri.

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ؛ أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ - صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ - قَالَ: "لَا يَبُولَنَّ أَحَدُكُمْ فِي الْمَاءِ الدَّائِمِ؛
الَّذِي لَا يَجْرِي، ثُمَّ يَغْتَسِلُ فِيهِ وَلَمْ يَسْلَمْ: "لَا يَغْتَسِلَنَّ أَحَدُكُمْ فِي الْمَاءِ الدَّائِمِ وَهُوَ جُنْبٌ"

Artinya: "Dari Abu Hurairah radhiyallahu 'anhu, Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda, "Janganlah salah seorang dari kalian kencing di air yang diam yaitu air yang tidak mengalir kemudian ia mandi di dalamnya". (HR. Bukhari, No. 239 dan Muslim, No.282).

Bertambahnya penduduk yang tinggi juga akan mengakibatkan tingginya volume limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas serta dapat merusak lingkungan sekitar apabila limbah tersebut tidak diproses dahulu sebelum

dibuang (Hasibuan, 2016). Hal ini disebabkan karena limbah berwujud cair dapat sangat mudah untuk masuk ke dalam lingkungan, termasuk lingkungan perairan. Dampak dari masuknya limbah ke dalam perairan, dapat menyebabkan kualitas lingkungan perairan menurun atau dapat dikatakan lingkungan tersebut telah tercemar (Afifudin & Rony, 2021).

Adanya pencemaran pada lingkungan perairan, seringkali disebabkan oleh aktivitas manusia yang kurang dalam memperhatikan lingkungan. Padahal sejatinya, manusia sebagai khalifah dimuka bumi ini memiliki tugas untuk mengelola serta memelihara alam semesta. Sebagaimana telah tertulis dalam Qs. Al-Baqarah ayat 30, yakni:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَن يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: *"Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: "Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi". Mereka berkata: "Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?" Tuhan berfirman: "Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui". (Qs. Al-Baqarah ayat 30).*

Belakangan ini juga sering terjadi kerusakan, dimana kerap disebabkan oleh ulah manusia tetapi banyak manusia tidak menyadari akan perbuatannya dapat menyebabkan kerusakan alam, termasuk adanya pencemaran di suatu perairan. Seperti halnya yang tertuang pada Al-Qur'an Surat Ar-Rum ayat 41, yakni:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”. (Qs. Ar-Rum ayat 41).

Pencemaran air merupakan suatu proses masuknya zat, komponen maupun unsur lain ke dalam perairan sehingga menyebabkan kualitas air menjadi terganggu yang ditandai oleh adanya perubahan warna, bau dan rasa (Alkhair, 2013). Menurut Wirawan (2019), penyebab pencemaran di lingkungan perairan salah satunya didominasi oleh limbah domestik yang bersumber dari limbah detergen (limbah cuci dan rumah tangga). Hal ini dapat dilihat seiring dengan penggunaan detergen pada tahun 1990 yang produksinya diperkirakan mencapai 7 juta ton. Sedangkan pada tahun 1997, produksi detergen meningkat hingga 18 juta ton dikarenakan adanya peningkatan jumlah penduduk dan berkembangnya industri tekstil, manufaktur serta industri laundry (Budiawan et al., 2009). Pada tahun 2007, pemakaian detergen hampir mencapai 500.000 ton per tahun. Sedangkan pada lima tahun terakhir, penggunaan detergen mengalami peningkatan yang cukup drastis yakni sebesar 10% per tahunnya (Rahman & Galih, 2013).

Detergen ialah suatu produk berbentuk cair (*liquid*) atau serbuk (*powder*) yang tersusun dari berbagai macam komponen serta berasal dari bahan kimia sintetis (Taufik, 2006). Adapun beberapa kandungan formula pada detergen diantaranya yakni surfaktan (bahan dasar detergen), builders (senyawa fosfat) serta bahan aditif (pemutih dan pewangi) (Yuliani et al., 2015). Menurut Handayani (2020), detergen memiliki kelebihan apabila dibandingkan dengan sabun yakni memiliki kemampuan dalam mengatasi air sadah dan larutan asam.

Larasati et al., (2021) juga berpendapat bahwa detergen dapat membersihkan berbagai macam kotoran dengan baik tanpa membentuk endapan berupa ion.

Diluar hal tersebut, pemakaian detergen yang makin meningkat juga akan memberikan dampak pada limbah yang dihasilkan yakni berupa pengaruh terhadap kondisi kimia dan fisik perairan yang terkena limbah secara langsung ataupun tidak langsung. Hal ini dapat menyebabkan terganggunya estetika pada perairan dikarenakan terdapat busa putih di badan perairan, adanya perubahan sifat fisik dan kimia air serta penurunan kadar oksigen terlarut perairan (Handayani, 2020). Suastuti et al., (2015) juga memaparkan bahwa adanya deterjen di perairan akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi yang menyebabkan pertumbuhan alga menjadi meningkat melebihi batas normal (*blooming*).

Pencemaran air oleh detergen seringkali disebabkan oleh adanya kandungan surfaktan (Suastuti et al., 2015). Surfaktan ialah suatu zat aktif yang termasuk dalam bahan kimia organik (Hendra et al., 2015). Surfaktan memiliki peran penting dikarenakan memiliki kandungan 15%-40% dari total formulasi komposisi detergen. Apabila diklasifikasikan berdasarkan gugus hidrofiliknya, surfaktan terbagi menjadi beberapa kategori yakni kationik, anionik, non-ionik dan amfoterik (Puspitasari et al., 2013). Jenis surfaktan detergen yang dominan digunakan pada aktivitas rumah tangga ialah surfaktan kategori anionik. Sedangkan surfaktan kationik, non-ionik dan amfoterik lebih dominan digunakan oleh kegiatan industri (Alfauziah, 2018).

Surfaktan dari kategori anionik yang digunakan dalam formulasi detergen ialah *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan *Alkyl Benzene Sulfonates*

(ABS). Namun pada saat ini LAS lebih dominan digunakan karena sifatnya yang mudah terurai, sedangkan ABS bersifat sulit terdegradasi (Fatikasari & Tarzan, 2022). Purnamasari (2014) menambahkan bahwa LAS bisa terurai pada saat kondisi aerob sebanyak 50% dalam kurun waktu 9 hari dan tidak dapat terurai pada saat kondisi anaerob dikarenakan adanya rantai alifatik yang tidak bisa tereduksi lebih lanjut.

Menurut PERMENLH RI Nomor 5 Tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah, kandungan detergen memiliki kadar maksimum sebesar 5 mg/L. Sedangkan kadar LAS memiliki nilai ambang batas sebesar 0,5 mg/L (Kurniawan et al., 2017). Fatikasari & Tarzan (2022) menjelaskan bahwa kulit manusia dapat mentoleransi reaksi secara langsung dengan kandungan LAS hanya sebesar 1%, apabila kadarnya melebihi 1% akan mengakibatkan kulit iritasi, kasar dan hilangnya kelembapan alami pada permukaan kulit. Sedangkan pada konsentrasi dibawah 1 mg/L dapat merusak jaringan hewan invertebrata yang hidup di air tawar (Coelho & Odete, 2010). Menurut Saez et al., (2000), LAS juga dapat terakumulasi pada berbagai jenis ikan laut. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Otzen (2011) bahwasanya LAS memiliki komponen hidrofobik yang memiliki potensi untuk masuk pada jaringan lemak serta dapat mendenaturasi protein sehingga protein dalam tubuh organisme mengalami kerusakan dan mengakibatkan gangguan pada aktivitas sel hingga kematian sel.

Selain limbah detergen dari hasil kegiatan rumah tangga, zat pencemar anorganik seperti logam berat juga kerap ditemukan pada lingkungan perairan. Umumnya, logam berat bersifat *non-degradable* atau tidak dapat terurai

(Setiawan, 2013). Menurut Yalcin et al., (2008), logam berat juga bersifat toksik, dimana akan sangat berbahaya apabila zat tersebut masuk dan berpindah melalui rantai makanan dari organisme satu ke organisme lainnya. Adhani & Husaini (2017) menambahkan bahwa sifat toksik pada logam berat dapat menyebabkan keracunan, penurunan fungsi fisiologis serta gangguan metabolisme apabila terakumulasi dalam tubuh suatu organisme. Terlebih lagi, apabila di dalam tubuh terdapat kadar logam berat melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan serta tersimpan dalam waktu yang lama. Hal tersebut akan berakibat fatal dan menyebabkan kematian pada suatu organisme (Putranto, 2011).

Salah satu logam berat yang mampu memberikan kontribusi besar terhadap pencemaran pada lingkungan perairan ialah tembaga (Cu). Logam Cu berasal dari peristiwa alamiah serta aktivitas manusia (non alamiah). Adapun sifat dari logam Cu ialah toksik atau beracun (Adhani & Husaini, 2017). Hal ini sesuai dengan pernyataan Siotto & Rosanna (2018), bahwa kadar Cu yang tinggi dalam tubuh dapat menimbulkan gejala seperti sakit perut, mual, muntah, netrofisis, hemolisis, kejang serta timbulnya penyakit anemia, diabetes dan parkinson. Keberadaan logam Cu yang melebihi batas maksimum dalam perairan juga dapat menyebabkan terjadinya biomagnifikasi, dimana pada kondisi tersebut biota perairan terlalu banyak mengonsumsi logam Cu sehingga tidak mampu dimetabolisme dengan baik oleh tubuh. Hal ini dapat menyebabkan keracunan hingga kematian pada biota tersebut (Adhani & Husaini, 2017).

Logam Cu kerap dimanfaatkan dalam bidang industri terutama industri manufaktur, tekstil dan elektroplating (pelapisan logam) (Hasanah, 2020). PP Nomor 82 Tahun 2001 menjelaskan tentang ambang batas logam Cu di perairan yakni sebesar 0,02 mg/L. Sedangkan pada beberapa kasus di Indonesia, salah satunya Kota gedhe Yogyakarta, air limbah dari industri elektroplating langsung dibuang tanpa melalui proses terlebih dahulu di sekitar tempat bekerja atau dibuang di parit yang mengarah ke sungai besar. Sehingga kadar logam Cu yang dihasilkan sangat berlimpah yakni mencapai 84,935 mg/L (Sekarwati, 2016). Selain di Kota gedhe Yogyakarta, di Surabaya tepatnya pada DAS Brantas terdapat cemaran logam Cu mencapai 0,37-0,81 mg/L yang berasal dari industri tekstil serta pelapisan dan peleburan logam (Fitriyah, 2013). Cemaran logam Cu sebanyak 0,21 mg/L juga ditemukan pada wilayah pesisir pantai Kota Lamongan yang bersumber dari industri sekitar pantai yakni pabrik pengalengan ikan, elektroplating dan galangan kapal (Rukmi, 2019).

Pada lingkungan perairan, sedikit kemungkinan bahwa suatu kontaminan mencemari badan perairan secara tunggal. Berbagai jenis zat pencemar organik maupun anorganik berkumpul dan bercampur menjadi satu pada suatu perairan. Sama seperti halnya dengan LAS dan logam Cu. Hal tersebut mendasari tujuan dari adanya gabungan antara zat pencemar organik yakni LAS dengan zat pencemar anorganik yakni logam berat Cu pada penelitian ini, yaitu untuk mengetahui respon serta efek yang ditimbulkan oleh gabungan LAS dan logam berat Cu dapat memiliki sifat antagonis pada tiap-tiap zat pencemar atau menjadikan zat pencemar tersebut bersifat sinergistik. Hal ini

juga telah dikaji oleh Morrow & Marvin (1993), bahwasannya dengan adanya kombinasi antara LAS, logam Cr dan Ni memiliki efek terhadap meningkatnya toksisitas LAS apabila bereaksi dan membentuk kompleks dengan kontaminan lain.

Adapun cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran air, yakni dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu upaya penggunaan tanaman untuk dekontaminasi (mengurangi atau menghilangkan kontaminasi) limbah (Djo et al., 2017). Menurut Soheti et al., (2020), fitoremediasi merupakan metode pengolahan limbah yang sangat efektif dan efisien dikarenakan proses pengolahannya dapat dilakukan secara insitu maupun eksitu sehingga mudah diterapkan, ramah lingkungan dan tidak memerlukan biaya yang mahal. Terlebih lagi, metode ini juga dapat bekerja pada senyawa organik maupun anorganik.

Pada lingkungan perairan, tanaman akuatik sangat cocok untuk diterapkan sebagai agen fitoremediasi pada air yang tercemar dikarenakan tingkat pertumbuhannya yang tinggi serta akarnya yang bisa digunakan sebagai tempat penyaringan dan penyerapan padatan tersuspensi (Rahayu, 2020). Selain itu, karakteristik tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi ialah tanaman yang mampu mengakumulasi limbah dengan laju absorpsi tingkat tinggi. Akan tetapi, tidak semua tanaman dapat mengabsorpsi kontaminan dalam jumlah yang besar dikarenakan setiap tanaman memiliki batas toleransi terhadap zat pencemar yang berbeda-beda (Hidayati, 2020).

Beberapa penelitian telah mengkaji kemampuan tanaman sebagai agen fitoremediasi zat pencemar LAS, diantaranya ialah tanaman tapak dara air

(*Ludwigia adscendens*) mampu menurunkan konsentrasi LAS hingga 89% pada konsentrasi 30 mg/L dalam kurun waktu 10 hari (Imtiyaz & Fida, 2020). Fatikasari & Tarzan (2022) juga telah melakukan penelitian mengenai efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai agen fitoremediasi zat pencemar LAS. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa tanaman *Lemna minor* lebih efektif 97,48% dibandingkan dengan *Hydrilla verticillata* 96% dalam menurunkan kadar LAS. Morfologi tanaman *Hydrilla verticillata* pada kadar LAS yang tinggi juga menunjukkan adanya perubahan bentuk daun serta warna pada bagian daun, batang dan akar. Sedangkan pada morfologi *Lemna minor* menunjukkan perubahan warna pada daun dan akar saja.

Selain itu, juga banyak penelitian yang telah mengkaji kemampuan tanaman dalam meremediasi logam berat Cu meliputi tanaman *Limnocharis flava*, *Pistia stratiotes* dan *Salvinia molesta*. Tanaman *Limnocharis flava* mampu menurunkan konsentrasi logam berat Cu hingga 80% dalam kurun waktu 16 hari (Fitria et al., 2014). Begitupun dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Baroroh et al., (2018) bahwa tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan kiambang (*Salvinia molesta*) dapat menurunkan kadar logam tembaga (Cu). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tanaman kiambang mampu menurunkan kadar Cu dengan persentase sebesar 96% pada konsentrasi 2 mg/L dan persentase sebesar 95% pada konsentrasi 5 mg/L. Sedangkan tanaman kayu apu dapat menurunkan konsentrasi Cu dengan persentase sebesar 94% dalam 2 mg/L dan 90% dalam 5 mg/L. Morfologi tanaman *Pistia stratiotes* pada kadar logam Cu yang tinggi menunjukkan adanya perubahan pada warna daun dari kuning hingga keputih-putihan yang

diakibatkan karena gagalnya proses penyusunan klorofil sehingga perkembangan tanaman menjadi terganggu.

Berdasarkan beberapa keadaan fisiologis tersebut, maka dibutuhkan adanya kajian fisiologis terkait respon tanaman terhadap paparan kontaminan. Hal ini didasarkan pada kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi suatu kontaminan tergantung pada karakteristik dan jenis dari tiap-tiap tanaman (Hidayati, 2020). Hal tersebut juga mendasari tujuan dari adanya variasi konsentrasi LAS pada penelitian ini, yakni mengetahui konsentrasi yang paling efektif dalam proses penyerapan LAS dengan adanya logam berat Cu oleh tanaman.

Penggunaan berbagai jenis tanaman sebagai agen fitoremediasi terbilang kurang beragam dan mempunyai beberapa kekurangan seperti halnya penggunaan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*), dimana tanaman tersebut merupakan tanaman pangan, sehingga dikhawatirkan terdapat kontaminasi dan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia ataupun organisme lainnya (Haruna et al., 2012). Sama halnya dengan penggunaan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dimana tanaman tersebut dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan dan menimbulkan bau tak sedap apabila keberadaannya sangat berlimpah di suatu perairan (Kilkoda et al., 2015). Maka dari itu, perlu dilakukannya penelitian dengan menggunakan tanaman jenis lain yang memiliki kemampuan mengabsorpsi LAS dan logam berat Cu.

Salah satu tanaman akuatik yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi adalah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*). Tanaman ini memiliki

beberapa keunggulan diantaranya yakni, termasuk dalam kategori tanaman non-pangan (tidak dapat dikonsumsi), dapat tumbuh dengan baik di air tawar maupun air payau, biasa ditemukan di sekitar sungai dan termasuk dalam kategori tanaman hias yang dapat menambah keindahan serta nilai estetika. Tak hanya itu, morfologi daun pada tanaman ini memiliki bentuk tangkai yang panjang serta berongga (Dewi et al., 2018). Hal ini turut mendukung tanaman daun tombak dalam pertahanannya saat terpapar berbagai macam kontaminan. Di samping hal tersebut, hingga saat ini belum terdapat penelitian dengan menggabungkan zat tercemar LAS dan logam berat Cu menggunakan tanaman *Sagittaria lancifolia* sebagai agen fitoremediasi. Penggunaan tanaman ini dirasa mampu untuk dijadikan sebagai agen fitoremediasi LAS dan logam berat Cu, dikarenakan terdapat penelitian terdahulu yang menggunakan tanaman jenis ini untuk meremediasi berbagai jenis kontaminan, seperti logam chromium (Cr), logam tembaga (Cu), minyak mentah dan detergen. Terlebih lagi, tanaman jenis ini dapat menurunkan kadar zat terlarut dalam air.

Penelitian terdahulu mengenai fitoremediasi dengan menggunakan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) telah dilakukan oleh Serang et al., (2018) dengan hasil bahwasannya tanaman *Sagittaria lancifolia* memiliki potensi sebagai agen fitoremediasi logam berat chromium (Cr) dikarenakan kemampuannya untuk menurunkan kadar Cr dalam air yang tercemar dengan persentase 80,64%. Penelitian selanjutnya juga telah dilakukan oleh Adistiara et al., (2019), didapat hasil bahwa tanaman daun tombak cukup efektif dalam menurunkan kadar limbah domestik detergen dengan konsentrasi sebesar 0,1 g/L. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, telah diketahui

bahwa tanaman *Sagittaria lancifolia* dapat dikatakan cukup efektif sebagai agen fitoremediasi berbagai macam kontaminan pada berbagai lingkungan, khususnya lingkungan perairan. Maka dari itu, tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) diharapkan juga mampu dan efektif untuk dijadikan sebagai agen fitoremediasi di lingkungan yang tercemar LAS dan logam berat Cu.

Pemanfaatan tanaman sebagai agen fitoremediasi pada lingkungan tercemar, pada dasarnya telah disebutkan dalam Qs. Ali-Imron ayat 191 yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذُكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ
هٰذَا بٰطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذٰبَ النَّارِ

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia, Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka”. (Qs. Ali-Imron ayat 191).

Ayat diatas menjelaskan, bahwasannya Allah SWT menciptakan segala sesuatu pasti memiliki fungsi dan manfaatnya masing-masing. Contohnya yakni bermacam-macam tanaman, dikarenakan banyak manfaat yang diperoleh, baik itu oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya. Salah satu manfaat dari tanaman yakni dapat dimanfaatkan sebagai upaya restorasi di suatu lingkungan yang tercemar oleh kontaminan, termasuk LAS (zat pencemar organik) dan logam berat Cu (zat pencemar anorganik). Salah satu jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan ialah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*).

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam mengabsorpsi zat pencemar LAS dan logam Cu dengan berbagai variasi konsentrasi serta mengetahui respon adanya paparan LAS dan logam Cu terhadap pertumbuhan tanaman *Sagittaria lancifolia*. Penelitian ini diharapkan dapat menambah khazanah pengetahuan mengenai pemanfaatan tanaman *Sagittaria lancifolia* sebagai agen fitoremediasi dan dapat dijadikan sebagai salah satu upaya pengelolaan lingkungan perairan maupun restorasi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengabsorpsi *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu)?
2. Bagaimana pengaruh paparan *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu) terhadap respon pertumbuhan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*)?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui efektivitas tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam mengabsorpsi *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu).
2. Mengetahui pengaruh paparan *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu) terhadap respon pertumbuhan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan bagi pembaca, khususnya masyarakat umum mengenai pemanfaatan tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) sebagai agen fitoremediasi.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu upaya pengelolaan lingkungan perairan yang tercemar serta dapat diaplikasikan sebagai upaya restorasi (pemulihan kualitas suatu lingkungan) yang tercemar *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu).

1.5 Batasan Penelitian

1. Jenis tanaman uji ialah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*).
2. Variasi konsentrasi *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) yang digunakan ialah 10 ppm, 30 ppm dan 50 ppm.
3. Konsentrasi logam berat tembaga (Cu) yang digunakan ialah 3 ppm.
4. Parameter kualitas air yang diamati meliputi suhu, pH, TDS (*Total Dissolved Solid*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*)
5. Kemampuan absorpsi tanaman yang dianalisis meliputi kadar LAS, kadar Cu, daya penyisihan (*removal efficiency*) dan efektivitas penyerapan (*absorption efficiency*)
6. Respon pertumbuhan tanaman yang diamati meliputi jumlah daun, morfologi tanaman dan biomassa tanaman

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Air

Pencemaran merupakan suatu perubahan fisika, kimia maupun biologi yang tidak diharapkan pada suatu ekosistem dan akan berdampak pada sumber serta kondisi kehidupan (Ainuddin & Widyawati, 2017). Hal ini telah ditetapkan pada PP No 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air, dimana definisi dari pencemaran air ialah suatu peristiwa masuknya energi, zat, makhluk hidup ataupun komponen lain ke dalam perairan yang diakibatkan oleh adanya kegiatan manusia dan dapat menyebabkan turunnya kualitas perairan hingga tingkatan tertentu sehingga air tersebut tidak bisa berfungsi sebagaimana mestinya (Herlambang, 2006).

Pencemaran air dapat disebabkan karena adanya zat buangan atau limbah dari berbagai aktivitas yang dilakukan manusia seperti halnya aktivitas rumah tangga, industri, pertanian dan peternakan. Adapun komponen-komponen penyebab pencemaran air yakni dapat berupa limbah padat, olahan bahan makanan, bahan anorganik, bahan organik, polusi thermal, minyak dan zat kimia seperti detergen, sabun, insektisida dan zat pewarna (Krisnawati et al., 2015). Hamzah & Rosyda (2019) juga telah memaparkan bahwa terdapat beberapa indikator yang kerap digunakan dalam pemeriksaan pencemaran air antara lain yakni:

a. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting bagi kehidupan organisme di suatu lingkungan serta faktor eksternal yang paling mudah untuk diteliti dan

ditentukan. Suhu pada perairan memiliki peran dalam pengendalian kondisi ekosistem perairan. Peningkatan suhu di perairan dapat meningkatkan dekomposisi bahan organik oleh bakteri serta terjadinya stratifikasi (pelapisan air). Selain itu, perubahan suhu pada permukaan juga dapat berpengaruh terhadap proses fisik, kimia dan biologi di perairan tersebut (Hamuna et al., 2018). Rahayu (2020) menambahkan bahwa suhu pada ekosistem perairan dipengaruhi oleh tingkat paparan sinar matahari serta proses pertukaran panas antara air dan udara di sekelilingnya.

b. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan dan indikator baik ataupun buruknya suatu perairan. pH pada suatu perairan termasuk salah satu parameter kimia yang cukup penting dalam memantau kestabilan perairan dikarenakan sangat mempengaruhi biota di perairan tersebut (Simanjuntak, 2009). Apabila pH pada suatu perairan menunjukkan nilai di bawah 7, menandakan perairan tersebut bersifat asam. Sebaliknya, apabila pH menunjukkan nilai di atas 7, menandakan perairan tersebut bersifat basa. Sedangkan air bersih akan bersifat netral apabila jumlah konsentrasi ion H^+ dan OH^- memiliki nilai seimbang (Sagala, 2019).

c. *Total Dissolved Solid* (TDS)

TDS merupakan suatu zat padat terlarut baik berupa ion-ion organik, senyawa ataupun koloid di dalam suatu larutan atau air (Zamora et al., 2016). TDS pada suatu perairan termasuk parameter fisika yang dilambangkan dalam satuan *Part Per Million* (PPM) atau miligram per Liter (mg/L). Nilai TDS di atas ambang batas pada suatu perairan dapat meningkatkan nilai kekeruhan

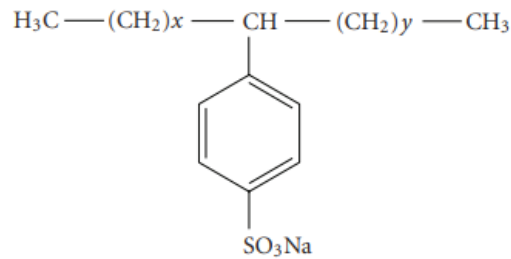
yang akan menghambat proses penetrasi cahaya ke dalam perairan dan memiliki pengaruh terhadap fotosintesis perairan (Kustiyaningsih & Rony, 2020).

d. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganik maupun organik (Nurjanah et al., 2017). Nilai COD yang tinggi dalam perairan menandakan adanya bahan pencemar serta jumlah mikroorganisme yang tinggi (Nurdin et al., 2009). Selain itu, hal ini dapat mengakibatkan kandungan oksigen terlarut di dalam perairan menjadi rendah hingga habis. Faktor tersebutlah yang dapat menyebabkan oksigen di dalam perairan tidak dapat terpenuhi sehingga menghambat perkembangbiakan hingga kematian pada organisme perairan (Rahayu, 2020).

2.2 Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS)

Surfaktan termasuk dalam zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yakni pada bagian hidrofil dan hidrofob. Surfaktan berfungsi sebagai penurun tegangan suatu permukaan air sehingga dapat menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan suatu bahan (Retno, 2009). Umumnya terdapat beberapa kategori surfaktan yakni surfaktan anionik, kationik, ionik dan amfoterik. LAS termasuk salah satu surfaktan kategori anionik (Alfauziah, 2018). Senyawa LAS dapat dilihat pada gambar 2.1, yakni sebagai berikut



Gambar 2.1 Senyawa LAS

Sumber: Sablayrolles et al (2009)

LAS ialah sebuah campuran homolog yang memiliki beda panjang rantai alkil (C_{10} - C_{13}) dan isomer posisi fenil 2 hingga 5-fenil, yang masing-masingnya memiliki cincin aromatik tersulfonasi pada posisi para dan melekat pada rantai alkil linier posisi manapun dengan pengecualian dari terminal satu (1-fenil) (Retno, 2009).

LAS termasuk dalam jenis surfaktan sintetis dikarenakan biayanya yang relatif murah, memiliki kemampuan kerja yang baik, ramah lingkungan serta sifatnya yang mudah terdegradasi. LAS kerap digunakan sebagai deterjen rumah tangga, produk pencuci dan pembersih peralatan rumah tangga, industri tekstil dan fiber, bahan kimia serta pertanian (Solichin, 2011). LAS dapat terdegradasi dalam kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme) dengan estimasi waktu yang cukup lama yakni sekitar 9 hari dan hanya mencapai 50% saja. Sedangkan pada kondisi anaerob (tidak ada udara), LAS sulit untuk terdegradasi. Sebagian besar sungai di Indonesia memiliki kondisi perairan yang keruh. Hal ini akan membawa suatu perairan tersebut pada kondisi anaerob, dimana LAS sangat sulit bahkan tidak dapat terdegradasi (Purnamasari, 2014).

LAS yang tidak terdegradasi mempunyai efek sangat toksik bagi suatu organisme dan bersifat bioakumulatif (tersimpan dalam jaringan). LAS dengan

konsentrasi 9,1 mg/L memiliki sifat racun akut untuk alga, pada invertebrata dengan konsentrasi 4,1 mg/L dan ikan dengan konsentrasi 3,5 mg/L (HERA, 2013).

2.3 Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat termasuk dalam jenis unsur kimia yang mempunyai berat > 5 g/cm³, terletak pada posisi kanan bawah sistem periodik unsur dan umumnya memiliki nomor atom antara 22 hingga 97 dari periode 4 hingga 7. Logam berat termasuk senyawa yang dapat merusak lingkungan dikarenakan memiliki sifat toksik dan beracun. Apabila pada suatu lingkungan jumlah logam berat sangat berlimpah, maka dapat mempengaruhi suatu ekosistem dan ekologi pada lingkungan tersebut (Setiawan, 2013). Diantara banyaknya jenis logam, logam berat tembaga (Cu) adalah salah satu logam yang bersifat toksik apabila kadarnya melebihi ambang batas.

Logam tembaga merupakan salah satu unsur logam transisi (golongan II B) dengan nomor atom 29, massa atom relative 63,546 gram/mol, titik lebur 1084,6°C dan titik didih 2567°C (Alpian, 2020). Logam Cu berasal dari peristiwa alamiah serta aktivitas manusia (non alamiah). Faktor terbentuknya tembaga pada suatu lingkungan dapat terjadi dengan adanya peristiwa alam seperti erosi dari bebatuan mineral. Debu dan partikulat tembaga pada lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan juga merupakan salah satu sumber alamiah tembaga di suatu lingkungan. Sedangkan sumber tembaga non alamiah sebagian besar diakibatkan oleh aktivitas hasil limbah industri yang menggunakan tembaga dalam proses produksinya seperti industri galangan

kapal, industri pengolahan kayu dan buangan rumah tangga (Adhani & Husaini, 2017).

Aktivitas industri yang menggunakan logam tembaga dapat menyebabkan pencemaran dan ditakutkan akan masuk serta mengontaminasi suatu lingkungan perairan. Hal ini tentunya akan sangat berbahaya jika penduduk kerap memanfaatkan air tersebut untuk kegiatan sehari-hari, dikarenakan tembaga bersifat racun pada kadar tertentu. Keracunan tembaga dapat bersifat akut dan dapat menimbulkan gejala seperti mual, muntah, sakit perut, nefrosis, kejang dan berakibat kematian. Sedangkan pada kasus keracunan kronis, logam ini menumpuk pada hati serta menyebabkan hemolisis hingga anemia dan pertumbuhan terhambat (Adhani & Husaini, 2017).

2.4 Fitoremediasi

2.4.1 Definisi Fitoremediasi

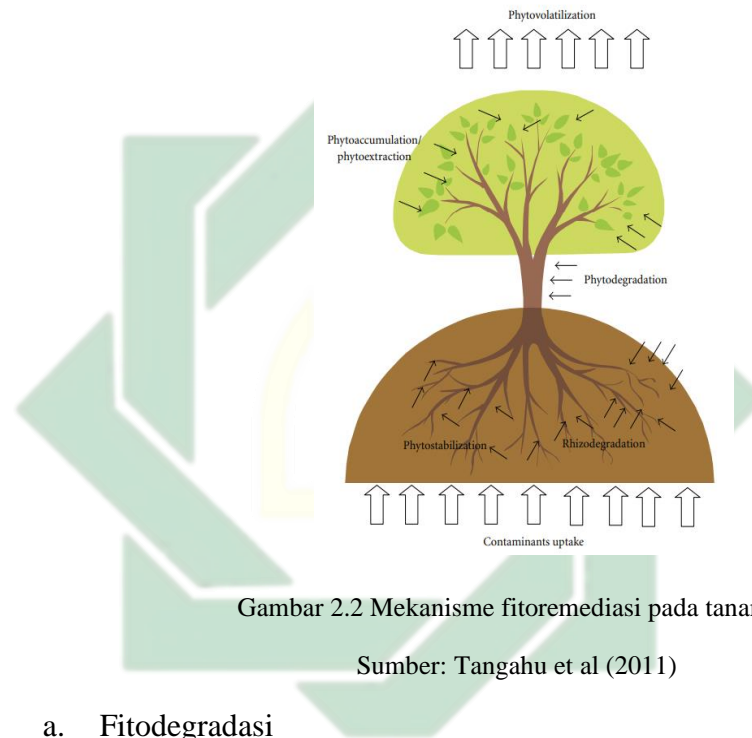
Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani, yakni Phyto yang artinya tanaman dan remediare artinya membersihkan sesuatu (Anggraeni, 2018). Fitoremediasi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam upaya membersihkan kontaminan yang berada di lingkungan, baik lingkungan air ataupun tanah dengan menggunakan suatu tanaman (Sood et al., 2012). Sedangkan menurut Irawanto (2010), pengertian dari fitoremediasi yakni suatu sistem yang memanfaatkan tanaman untuk mengurangi atau mengubah suatu polutan dalam suatu lingkungan dan terlebih lagi dapat mengubahnya menjadi sesuatu yang tidak berbahaya serta dapat dipergunakan kembali.

Metode fitoremediasi umumnya digunakan pada kontaminan organik maupun anorganik (Ali et al., 2013). Fitoremediasi dapat dilakukan dengan dua cara yakni in situ dan ek situ. Metode in situ dapat dilakukan langsung pada tempat kejadian pencemaran, sedangkan metode ex situ dapat dilakukan dengan mengambil sampel yang kemudian dipindahkan ke dalam kolam buatan yang digunakan untuk penanganan limbah (Pratama, 2017). Metode fitoremediasi termasuk metode remediasi yang efektif dibandingkan dengan metode remediasi yang lainnya dikarenakan proses perawatan dan pembuatannya yang mudah, tanaman mempunyai berbagai cara dalam meremediasi lingkungan yang tercemar, memelihara kondisi alami lingkungan dan dapat mudah mengawasi pertumbuhan dari tanaman yang digunakan. Adapun kekurangan dalam penggunaan metode ini diantaranya yakni membutuhkan waktu yang lama serta kecocokan tanaman terhadap lingkungan limbah (Imron et al., 2019).

2.4.2 Mekanisme Fitoremediasi

Mekanisme pada metode fitoremediasi bergantung pada jenis zat pencemar, ketersediaan hayati dan sifat dari suatu lingkungan (Li et al., 2012). Beberapa tanaman memiliki cara masing-masing dalam membersihkan atau memulihkan lingkungan yang terkontaminasi (Sukono et al., 2020). Absorpsi kontaminan pada suatu tanaman terjadi melalui akar. Hal ini dikarenakan sistem akar termasuk mekanisme utama untuk mencegah toksisitas dan penyedia luas permukaan yang sangat besar serta mampu mengabsorpsi dan mengakumulasi air dan

nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman, bersama dengan kontaminan non-esensial lainnya (Ma et al., 2011). Ayub (2015) menjelaskan bahwa mekanisme pada metode fitoremediasi meliputi fitodegradasi, fitoekstraksi, fitovolatilisasi, fitostabilisasi, rizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi kontaminan.



Gambar 2.2 Mekanisme fitoremediasi pada tanaman

Sumber: Tangahu et al (2011)

a. Fitodegradasi

Fitodegradasi adalah proses penyerapan kontaminan oleh tanaman untuk diproses lebih lanjut dalam metabolisme dengan bantuan enzim (Hidayati, 2020). Enzim yang terlibat dalam proses fitodegradasi yakni oksigenase dan dehalogenase, dimana enzim tersebut tidak bergantung pada mikroorganisme rhizosfer. Penyerapan kontaminan dengan fitodegradasi terbilang kurang efektif apabila digunakan pada pencemar anorganik dikarenakan sifat dari zat pencemar yang tidak terurai secara biologi menyebabkan penyerapan oleh tanaman sangat sedikit dalam

menghilangkan suatu zat pencemar. Tetapi, fitodegradasi dapat terbilang efektif jika digunakan pada pencemar organik seperti pestisida, insektisida dan herbisida (Ali et al., 2013).

b. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi atau fitoakumulasi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh tanaman dari air ataupun tanah melalui akar yang kemudian ditranslokasikan dan disimpan pada bagian tajuk tanaman. Jenis tanaman ini biasa disebut dengan tanaman hiperakumulator (Ayub, 2015). Fitoekstraksi sangat cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat pencemar anorganik (Pranoto, 2013).

c. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh tanaman dari suatu lingkungan kemudian mengubahnya menjadi larutan terurai sebagai zat yang tidak berbahaya dan selanjutnya dipindahkan ke atmosfer (Saier & Trevors, 2010).

Proses ini melibatkan kontaminan yang dibawa ke dalam tubuh tanaman, tetapi kontaminan atau produk degradasi yang memiliki sifat volatil diangkut dengan uap air dari daun (Wang et al., 2017).

Fitovolatilisasi juga dapat menyebabkan difusi kontaminan dari batang atau bagian tanaman lain yang dilaluinya sebelum mencapai daun (Tangahu et al., 2011).

d. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh tanaman untuk mentransformasikan kontaminan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu kontaminan tersebut ke dalam organ tanaman. Hasil transformasi dari kontaminan tersebut akan tetap berada di dalam tanah (Ayub, 2015). Mekanisme pada proses ini meliputi penyerapan, presipitasi, kompleksasi dan pengurangan logam (Ali et al., 2013).

e. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi digunakan dalam memulihkan kondisi air tanah yang telah diekstraksi, air permukaan maupun air limbah dengan konsentrasi kontaminan rendah. Proses ini merupakan proses adsorpsi atau penyerapan suatu kontaminan dalam larutan yang mengelilingi zona akar (Wang et al., 2017). Rhizofiltrasi dapat digunakan sebagai penghilang logam atau senyawa anorganik lainnya (Vamerali et al., 2010).

2.5 Tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*)

Sagittaria lancifolia kerap dikenal dengan sebutan tanaman daun tombak/arrowhead dikarenakan daunnya yang menyerupai mata panah atau tombak. Tanaman ini bertubuh tegak serta kaku dan tingginya mencapai 1 m (Dewi et al., 2018). Daunnya berbentuk seperti tombak, lonjong menyempit atau hampir sama dengan bentuk pita memanjang. Memiliki warna daun hijau cerah dan agak mengkilat dengan tulang daun yang agak menonjol. Bunganya tersusun dalam pusaran, bunga kecil-kecil berwarna putih dengan variasi bintik

cokelat di bagian tengah dan tersusun dalam tandan. Pada tiap tandannya, setiap pusaran dominan terdiri dari tiga kuntum bunga yang mahkotanya berwarna putih dan berbentuk bulat. Kelopaknya terdiri atas tiga helai berukuran kecil dan berwarna kehijauan. Masa berbunga hampir terjadi setiap tahun dan umur hidupnya mencapai 6 bulan (Afiyah et al., 2020).

Tanaman ini berhabitat pada kolam yang tidak terlalu dalam tetapi memiliki tipe tanah berlumpur yang cukup subur dan kerap tumbuh pada perairan tawar atau payau seperti parit, rawa, sepanjang tepi sungai dan danau (Hidayah et al., 2020). *Sagittaria lancifolia* umumnya dimanfaatkan sebagai tanaman hias karena memiliki nilai estetika. Berasal dari Negara Amerika beriklim tropis terutama pada daerah Florida hingga Puerto Rico (Afiyah et al., 2020). Tanaman daun tombak bereproduksi secara aseksual (penyebaran rimpang) dan seksual (reproduksi banyak benih dan buah kering). Benih tanaman ini hanya dapat berkecambah saat di bawah cahaya dan dengan maupun tanpa air yang tersedia, tetapi hasil perkecambahannya lebih pendek saat direndam dalam air (Afifudin, 2022).



Gambar 2.3 Tanaman *Sagittaria lancifolia*

Sumber: Irawanto (2016)

Adapun klasifikasi tanaman *Sagittaria lancifolia*, yakni sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Division : Tracheophyta

Class : Magnoliopsida

Order : Alismatales

Family : Alismataceae

Genus : *Sagittaria*

Species : *Sagittaria lancifolia* (ITIS, 2015).

2.6 Mekanisme Absorpsi oleh Tanaman *Sagittaria lancifolia*

2.6.1 Absorpsi LAS oleh Tanaman *Sagittaria lancifolia*

Mekanisme absorpsi LAS oleh tanaman *Sagittaria lancifolia* terjadi pada ujung akar, dimana tanaman akan menyerap suatu kontaminan melalui jaringan meristem. Kemudian akar tanaman akan mengabsorpsi ion esensial, non esensial dan senyawa organik. Ion Na terserap masuk ke dalam akar secara radial, kemudian akan menembus pada jaringan korteks. Zat yang telah terserap oleh akar tersebut akan menuju batang melalui pembuluh xylem kemudian diteruskan pada daun (Fatikasari & Tarzan, 2022).

Fitriana & Sunu (2020) berpendapat bahwa tanaman akan menyerap senyawa SO_3^{2-} dan Na^+ melalui akar dan akan dilokalisasikan ke bagian sel tanaman tertentu agar metabolisme suatu tanaman tidak terganggu. Akar tanaman akan menyerap senyawa sulfat (SO_4^{2-}) yang ada di suatu lingkungan sebelum diubah menjadi sulfit (SO_3^{2-}). Sulfat secara aktif akan diserap oleh akar melintasi membran plasma pada sel

akar, kemudian disalurkan pada pembuluh xylem dan dibawa ke batang lewat aliran transpirasi (Kopriva & Koprivova, 2003). Sedangkan, mekanisme absorpsi senyawa Na^+ oleh tanaman terjadi pada membran plasma dalam sel-sel akar (Fitriana & Sunu, 2020).

Penyerapan senyawa tersebut pada akar terjadi secara difusi sederhana lewat dinding sel dengan cara melewati satu sel ke sel lain melalui plasmodesmata (simplas) maupun melalui dinding sel (apoplas) kemudian air yang bercampur senyawa LAS dibawa melalui transportasi xylem dan harus melintasi pita kaspari sehingga air melewati sel endodermis dengan cara dipompa. Setelah menembus endodermis akar, senyawa Na^+ akan mengikuti aliran air melalui xylem dan floem menuju ke bagian tanaman lainnya (Fitriana & Sunu, 2020).

Penyerapan zat-zat yang ada pada limbah dilakukan di ujung akar dengan jaringan meristem. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya gaya tarik menarik oleh molekul air yang ada pada tanaman, sehingga zat-zat yang telah diserap oleh akar akan masuk ke batang melalui xylem dan kemudian diteruskan pada daun (Hardyanti & Suparni, 2007).

Saat senyawa LAS melalui simplas kemudian akan dimodifikasi lewat reaksi oksidasi, reduksi dan hidrolisis diikuti dengan konjugasi dengan *glutathione* (GSH), gula dan asam organik. Tahap akhir pada proses ini ialah mengubah GSH, gula dan asam organik menjadi lebih mudah larut dan menyediakan adanya *subsequent binding* untuk pengikatan enzim, transporter dan protein relevan lainnya. Selanjutnya

kontaminan organik dalam suatu tanaman dapat di detoksifikasi dengan degradasi enzim dan senyawa organik tersebut akan disimpan di dalam vakuola sehingga dapat di metabolisme lebih lanjut (Pilon-smits, 2005).

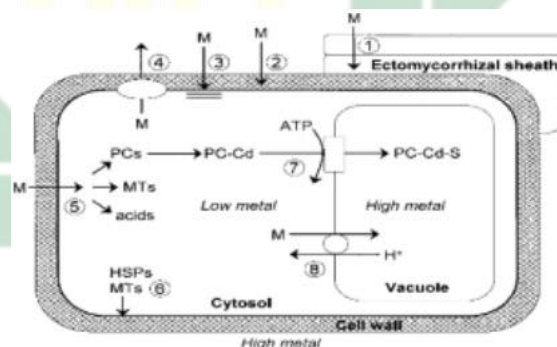
2.6.2 Absorpsi Logam Berat Cu oleh Tanaman *Sagittaria lancifolia*

Terdapat beberapa mekanisme absorpsi logam berat oleh tanaman diantaranya yakni secara fisika, biologi maupun fisiologi (Oliveira, 2012). Dalam mekanisme absorpsi logam berat Cu, tanaman kerap melakukan penyerapan dalam bentuk aktif dan pasif ataupun secara bersamaan. Sama halnya dengan tanaman *Sagittaria lancifolia* yang dapat mengabsorpsi Cu dalam bentuk Cu^{2+} dan melakukan penyerapan secara aktif ataupun pasif (Russel, 1977).

Penyerapan aktif atau kerap dikenal dengan metabolik merupakan suatu proses penyerapan yang terjadi melalui absorpsi logam dari epidermis akar menuju sitoplasma dan terjadi melewati sitoplasma (simplas) maupun dinding sel (apoplas) (Russel, 1977). Kemudian setelah logam masuk ke dalam jaringan dan sistem metabolisme tanaman, logam tersebut akan mengalami proses pengkelatan kompleks (pengikatan atom dengan ligan pada dua/lebih lokasi ikatan) dengan bantuan peptide sistein, *metallothioneins* (MTs) dan *phytochelatins* (PC). Setelah logam berikatan dengan kelat, maka logam tidak lagi bersifat beracun bagi tanaman (detoksifikasi logam) (Bayçu, 2016).

Penyerapan pasif atau non metabolik merupakan suatu proses penyerapan logam berat ke dalam sel tanaman tanpa memerlukan energi. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan konsentrasi antara luar

dan dalam sel. Disisi lain, akumulasi logam Cu juga dapat terjadi dengan pengikatan ion logam Cu pada dinding sel. Senyawa yang terlibat dalam proses penyerapan tersebut adalah asam galakturonat dan pektin (Hall, 2002). Apabila konsentrasi Cu di suatu lingkungan rendah, maka absorpsi secara aktif akan lebih mendominasi. Tetapi apabila konsentrasi sedang hingga tinggi, maka serapan secara pasif lebih dominan terjadi. Sedangkan pada konsentrasi logam yang tinggi, suatu tanaman akan mengalami kerusakan dinding sel dan integritas membran sehingga tanaman kehilangan selektivitas serapannya. Pada kondisi ini, serapan secara pasif sangat memungkinkan terjadi (Afifudin, 2022).



Gambar 2.4 Mekanisme sel tanaman terhadap detoksifikasi logam

Sumber: Hall (2002)

Mekanisme absorpsi logam Cu oleh tanaman sangatlah bervariasi tergantung pada karakteristik dari masing-masing spesies tanaman. Disamping itu, pH pada suatu perairan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap proses penyerapan logam Cu. Selain itu, adanya jenis logam berat lain dalam suatu lingkungan juga mempengaruhi serapan Cu oleh tanaman. Setelah mengetahui mekanisme tanaman dalam mengabsorpsi dan melindungi diri dari

suatu kontaminan seperti logam berat, maka akan dapat diidentifikasi respon morfologi maupun fisiologi tanaman setelah terpapar zat pencemar (Fernandes & Henriques, 1991).

2.7 Metode MBAS (*Methylen Blue Active Surfactant*)

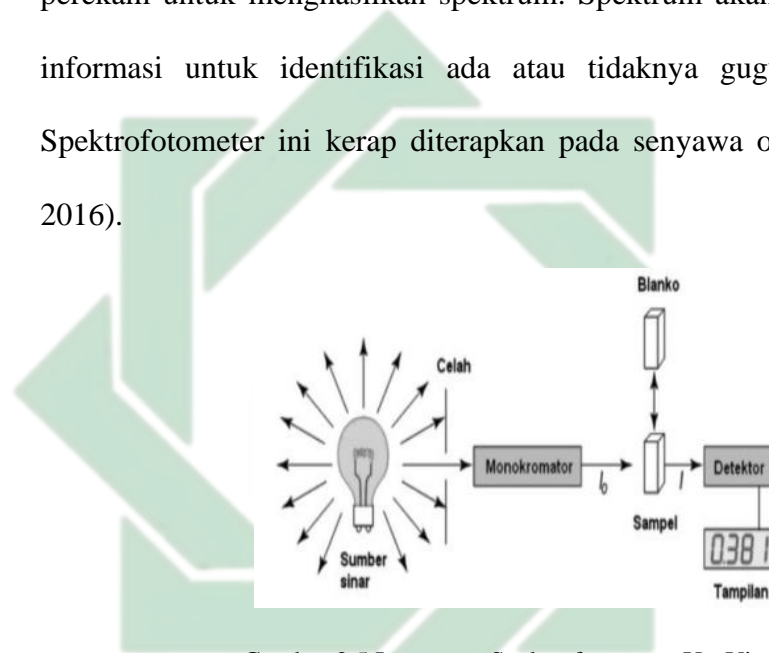
Metode MBAS merupakan suatu metode dengan adanya penambahan zat metilen biru yang berikatan dengan surfaktan dan dianalisis menggunakan instrumen spektrofotometer Uv-Vis. Hal ini sesuai dengan intensitas warna biru pada ekstrak kloroform yang diukur menggunakan instrumen Uv-Vis. Konsentrasi LAS pada suatu sampel dapat diketahui dengan perhitungan kurva kalibrasi. Sedangkan konsentrasi yang terbaca pada instrumen merupakan kadar LAS pada sampel yang berikatan dengan metilen biru. Prinsip dari ekstraksi pelarut MBAS sendiri ialah distribusi zat berdasarkan kelarutan terhadap pelarut yang ditambahkan. Hal tersebut memiliki tujuan agar LAS terikat dengan metilen biru dan terlarut dalam lapisan bawah (fasa kloroform). Metilen biru termasuk senyawa organik hidrofobik dan memiliki gugus amonium kuarterner yang memungkinkan lebih efektif untuk membentuk suatu disosiasi ion dengan surfaktan lain yang memiliki hidrokarbon panjang (Sari, 2015).

2.8 Spektrofotometri Uv-Vis

2.8.1. Instrumen Spektrofotometer Uv-Vis

Spektrofotometri UV-Vis ialah suatu metode analisis fisikokimia yang meninjau interaksi molekul dari zat kimia dengan radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190 hingga 380 nm) dan sinar tampak (380 hingga 780 nm) dengan menggunakan spektrofotometer

(Roosita, 2007). Prinsip dari instrumen ini ialah adanya transisi elektronik suatu molekul yang disebabkan oleh peristiwa absorpsi energi berupa radiasi elektromagnetik pada frekuensi tertentu oleh molekul itu sendiri. Penyerapan radiasi pada sampel diukur oleh detektor pada berbagai panjang gelombang dan dilanjutkan pada perekam untuk menghasilkan spektrum. Spektrum akan memberikan informasi untuk identifikasi ada atau tidaknya gugus kromofor. Spektrofotometer ini kerap diterapkan pada senyawa organik (Laili, 2016).



Gambar 2.5 Instrumen Spektrofotometer Uv-Vis

Sumber: Ahriani (2021)

Terdapat beberapa jenis komponen yang terdapat pada instrumen spektrofotometer Uv-Vis, diantaranya ialah sumber sinar, monokromator, kuvet, detektor dan red out (Helwandi, 2016). Pada komponen sumber sinar memiliki fungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan bermacam-macam panjang gelombang. Monokromator berfungsi sebagai penyaring panjang gelombang dengan cara mengubah cahaya yang berasal dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromatis. Kuvet berfungsi sebagai wadah sampel untuk meletakkan cairan ke dalam berkas cahaya

instrumen. Umumnya, kuvet tampak dan ultraviolet memiliki ketebalan 1 cm, namun ada pula kuvet dengan ketebalan yang bermacam-macam mulai dari kurang dari 1 mm hingga 10 cm bahkan lebih. Detektor memiliki fungsi untuk menangkap cahaya yang diteruskan pada sampel dan diubah menjadi arus listrik. Sedangkan read out berfungsi sebagai sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor (Mubarok, 2017).

Skema kerja pada instrumen ini ialah cahaya putih yang berasal dari sumber sinar akan dilewatkan melalui monokromator sehingga sinar memiliki panjang gelombang tertentu. Radiasi yang keluar akan ditujukan pada detektor dan mengubahnya menjadi sinyal-sinyal listrik. Cahaya polikromatis yang berasal dari sumber cahaya masuk ke dalam monokromator dan mengalami penguraian menjadi cahaya monokromatis. Cahaya tersebut kemudian diteruskan menggunakan sel yang berisi sampel. Beberapa cahaya diserap oleh sel dan sebagian diteruskan pada fotosel guna mengubah energi cahaya menjadi energi kinetik. Energi listrik yang diperoleh dari fotosel memberikan sinyal pada detektor dan mengubahnya menjadi nilai serapan dari zat yang akan dianalisis (Mubarok, 2017).

2.8.2. Hukum *Lambert Beer*

Hukum *Lambert Beer* menyatakan bahwa adanya hubungan linear antara absorbansi dan konsentrasi pada larutan sampel. Konsentrasi sampel pada suatu larutan dapat dilakukan dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tertentu dengan hukum *Lambert*

Beer (Mubarok, 2017). Jika konsentrasi pada sampel tinggi, maka absorbansinya juga tinggi, begitupun sebaliknya. Apabila nilai absorbansi pada suatu larutan berkisar antara 0,2-0,8 maka korelasi antara absorbansi dengan konsentrasi akan linier ($A \approx C$). Hal ini disebut dengan daerah berlakunya hukum Lambert-Beer. Jika diperoleh nilai absorbansi yang melebihi batas tinggi, maka korelasi absorbansi tidak linier lagi (Suhartati, 2017). Secara sederhana, hukum ini dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$A = \epsilon . b . c$$

Keterangan:

A : Absorban

ϵ : Absorbtivitas molar

b : Lebar kuvet

c : Konsentrasi larutan (Mubarok, 2017).

Hukum Lambert Beer memiliki pengertian yakni dasar prinsip kerja spektrofotometer, dimana jika seberkas cahaya dilewatkan oleh suatu medium pada panjang gelombang tertentu maka sebagian cahaya tersebut akan diteruskan dan sebagian lagi diabsorpsi oleh medium. Cahaya absorban dengan konsentrasi penyerapan dan jarak yang ditempuh dalam larutan yakni memiliki hubungan berbanding lurus (Warono & Syamsudin, 2013). Hal yang perlu diperhatikan dalam hukum *Lambert Beer* ialah senyawa yang mengabsorpsi dalam larutan tidak bergantung terhadap larutan lain. Indeks bias juga tidak bergantung pada konsentrasi larutan, sinar yang digunakan dianggap monokromatis, absorbansi terjadi dalam volume yang memiliki

penampang luas yang sama dan tidak terjadi peristiwa fluoresensi (Ahriani, 2021).

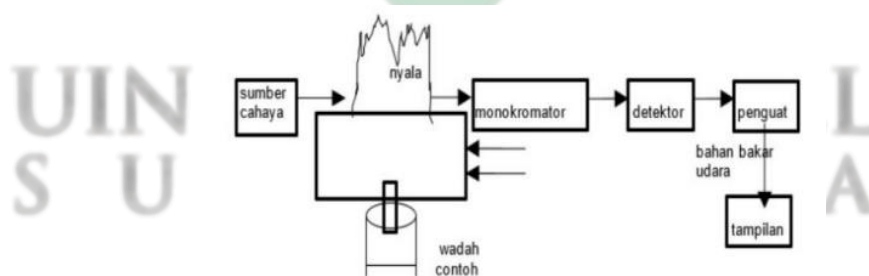
2.9 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) atau kerap dikenal dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan suatu metode analisis senyawa kuantitatif yang mempunyai tingkat keakuratan cukup tinggi meskipun sampel uji yang digunakan sangat sedikit. Analisis menggunakan instrumen AAS menyajikan data berupa kadar total logam yang terkandung dalam sampel dan tidak bergantung pada struktur molekul dari sampel logam yang akan diuji (Anisa, 2020). Kelebihan analisis menggunakan instrumen ini ialah tingkat keakuratannya yang tinggi, cepat, teliti, metode pengerjaan sederhana dan tidak memerlukan pemisahan logam yang akan di uji (Manuhutu, 2009).

Jenis sampel yang dapat diuji pada AAS berupa sampel anorganik. Preparasi sampel dapat dilakukan dengan destruksi basah ataupun kering dengan bantuan microwave (Asmorowati et al., 2020). Umumnya, analisis pada AAS menggunakan prinsip penyerapan energi radiasi pada sumber nyala atom yang menempati tingkatan energi dasar. Pada tiap elektron yang menempati lapisan kulit terluar, akan mengalami eksitasi. Hal tersebut dikarenakan atom terkena energi yang berasal dari lampu katoda (sumber radiasi). Pada keadaan ini, atom dapat menyerap energi cahaya pada panjang gelombang yang spesifik di tiap unsurnya. Panjang gelombang yang kerap digunakan dalam analisis logam Cu dalam instrumen AAS yakni sebesar 217 nm dan 324,7 nm. Panjang gelombang ini adalah panjang gelombang paling

kuat dalam menyerap garis transisi elektronik dari *ground state* menuju keadaan tereksitasi (Pambudi & Suprpto, 2018).

Prinsip dasar dari AAS ialah apabila cahaya dengan panjang gelombang dilewatkan pada nyala yang mengandung atom, maka sebagian cahaya tadi akan diserap oleh atom. Jauhnya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah atom dasar yang berada dalam keadaan nyala (Maria, 2009). Saat sampel dianalisis dengan instrumen AAS, sampel harus berbentuk larutan jernih untuk dilanjutkan pada proses pengabutan sebelum dialirkan ke dalam nyala. Pelarut pada sampel akan diuapkan sehingga hanya meninggalkan partikel garam kering. Pada suhu yang sangat tinggi, partikel tersebut akan kembali diuapkan sampai struktur garam terpecah menjadi atom bebas. Atom bebas tersebut akan bersatu dengan atom lainnya dan uap atom logam selanjutnya akan tereksitasi energi panas oleh nyala. Hal ini membuat kondisi atom tidak stabil dan atom akan kembali pada keadaan aslinya dengan melepaskan energi yang sama dengan yang diterima (Taufikurrahman, 2016).



Gambar 2.6 Instrumen Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Sumber: Hastuti (2017)

Terdapat berbagai jenis komponen pada instrumen AAS, di antaranya yakni sumber sinar berupa lampu katoda berbentuk silinder dan dilapisi oleh logam tertentu. Wadah untuk sampel yang akan di uji, monokromator untuk

memilih sinar monokromatis dari sinar polikromatis. Detektor yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang telah dikeluarkan oleh atom. Penguat berupa amplifier berfungsi memperkuat sinar yang telah diterima oleh detektor agar dapat terbaca lebih mudah oleh recorder. Setelah semua sinar diterima lalu akan dicatat oleh read out (Noriyanti, 2012). Metode analisis menggunakan instrumen ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya yakni terdapat unsur-unsur yang tidak bisa menghasilkan uap atom pada keadaan dasar saat mendekati nyala sehingga tidak dapat terdisosiasi (Manuhutu, 2009).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 7 perlakuan dan 3 kali ulangan. Ulangan tersebut diperoleh berdasarkan rumus pengulangan Federer yakni:

$$t(n-1) \geq 15$$

$$7(n-1) \geq 15$$

$$7n - 7 \geq 15$$

$$7n \geq 22$$

$$n \geq 3,1$$

Keterangan:

n : Jumlah ulangan

t : Jumlah perlakuan

Adapun rancangan eksperimen pada penelitian ini yakni sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rancangan eksperimen

Variasi Konsentrasi	Waktu detensi
S ₀	
S ₁	
S ₂	
S ₃	28 hari
S ₄	
S ₅	
S ₆	

Keterangan:

S₀, S₁, S₂, S₃, S₄, S₅ dan S₆ menunjukkan konsentrasi LAS dan logam Cu pada media

S₀ : Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)

S₁ : LAS 10 mg/L

S₂ : LAS 30 mg/L

S₃ : LAS 50 mg/L

S₄ : LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L

S₅ : LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L

S₆ : LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli – Oktober 2022 di rumah kaca pembibitan dan Laboratorium Kebun Raya Purwodadi – BRIN. Sampel tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) yang digunakan diambil dari Kebun Raya Purwodadi – BRIN.

Tabel 3.2 Jadwal penelitian

No	Kegiatan	Bulan												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Persiapan													
2.	Penyusunan proposal													
3.	Seminar proposal													
	Penelitian dan pengamatan													
	▪ Persiapan alat dan bahan													
	▪ Aklimatisasi													
	▪ Fitoremediasi													
4.	▪ Pengamatan parameter kualitas air													
	▪ Pengamatan respon pertumbuhan tanaman													
	▪ Uji laboratorium													
5.	Analisis data													
6.	Penyusunan skripsi													
7.	Seminar hasil penelitian													

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah bak plastik uk 5 L, bak besar, gunting stek, cutter, kertas label, aluminium foil, gelas ukur, gelas piala, gelas takar, kaca arloji, spatula, batang pengaduk, pipet volumetrik, pipet ukur, bulb, corong gelas, corong pemisah, erlenmeyer, labu ukur, labu semprot, mikro buret, kertas saring *whatman* 42, water bath, pemanas listrik, *magnetic stirrer*, *digestion vessel*, *heating block*, pH meter, TDS & EC meter, timbangan analitik, timbangan digital, blender, loyang, oven, instrumen spektrofotometer Uv-Vis, instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang dilengkapi dengan lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*) tembaga.

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*), air, aquades, *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) 100%, tembaga sulfat (CuSO_4), pupuk NPK, larutan standar Cu, alkohol 95%, fenolftalin, natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat pekat (H_2SO_4), larutan metilen biru, kloroform (CHCl_3), isopropil alkohol, natrium fosfat monohidrat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), asam nitrat pekat (HNO_3), serabut kaca (*glass wool*), asam perklorik (HClO_4), merkuri sulfat (HgSO_4), kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), perak sulfat (Ag_2SO_4), 1,10-phenanthrolin monohidrat, besi sulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dan ferro ammonium sulfat ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

3.4 Variabel Penelitian

- a. Variabel kontrol meliputi jenis tanaman, jumlah tanaman, volume air, jenis zat pencemar dan waktu detensi
- b. Variabel bebas meliputi variasi konsentrasi zat pencemar dalam media
- c. Variabel terikat meliputi kemampuan absorpsi tanaman (kadar LAS, kadar Cu, daya penyisihan dan efektivitas penyerapan) dan respon pertumbuhan tanaman (jumlah daun, morfologi tanaman dan biomassa tanaman)

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Aklimatisasi Tanaman

Sampel tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) dengan ukuran ± 45 cm dalam kondisi segar. Tanaman *Sagittaria lancifolia* diambil dari kolam akuatik Kebun Raya Purwodadi dan diaklimatisasi di rumah kaca pembibitan selama 2 minggu dengan tujuan agar tanaman melakukan penyesuaian kondisi lingkungan baru secara bertahap serta dapat meregenerasi bagian tubuhnya yang rusak. Aklimatisasi dilakukan dengan penambahan pupuk NPK pada awal tahapan sebanyak 7,5 mL dari perbandingan pupuk NPK dan air (10:1).

3.5.2 Pembuatan Larutan Kerja

Pembuatan larutan kerja LAS dengan variasi konsentrasi 0 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L dan 50 mg/L serta logam Cu 3 mg/L yang dibutuhkan yakni dengan menggunakan rumus pengenceran. Larutan induk yang digunakan ialah LAS 100% dan CuSO_4 dengan konsentrasi 1000 ppm. Rumus yang digunakan ialah:

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

Keterangan:

M1: Konsentrasi larutan awal

M2: Konsentrasi larutan yang diinginkan

V1: Volume air awal

V2: Volume air setelah pengenceran

Adapun perhitungan pembuatan larutan kerja LAS 100% dan CuSO_4 dapat dilihat pada lampiran 1.

3.5.3 Persiapan Fitoremediasi

Tanaman *Sagittaria lancifolia* yang telah diaklimatisasi selama 2 minggu, selanjutnya akan masuk ke dalam tahap *treatment* fitoremediasi. Sebelum *treatment* dilakukan, alat dan bahan yang digunakan disiapkan terlebih dahulu. Konsentrasi LAS yang digunakan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Fitrihidajati et al., (2020). Sedangkan konsentrasi logam Cu mengacu pada hasil dari tahap *Range Finding Test* (RFT) yang telah dilakukan oleh Afifudin & Rony (2021). Setelah itu, tanaman *Sagittaria lancifolia* diambil sejumlah satu tanaman pada tiap satuan percobaan, dimana pada tiap satuan percobaan telah diisi air yang telah tercemar LAS dan logam Cu sebanyak 3 L.

3.5.4 Pelaksanaan Fitoremediasi

Konsentrasi LAS yang digunakan adalah 3 variasi konsentrasi yakni 10 mg/L, 30 mg/L dan 50 mg/L dengan satu kontrol 0 mg/L. Sedangkan konsentrasi logam Cu yang digunakan yakni 3 mg/L dengan

3 pengulangan pada masing-masing perlakuan. Variasi konsentrasi LAS diterapkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Fitrihidajati et al., (2020) bahwa pada konsentrasi 75 ppm, tanaman mengalami indikasi kematian (klorosis dan nekrosis). Begitupun dengan konsentrasi logam Cu pada hasil *Range Finding Test* (RFT) yang telah dilakukan oleh Afifudin & Rony (2021), menunjukkan bahwa pada konsentrasi 5 ppm tanaman juga mengalami indikasi kematian (klorosis dan nekrosis). Pengamatan fitoremediasi dilakukan selama 28 hari dengan pengukuran suhu, pH dan TDS yang dilakukan setiap hari setelah pemberian zat pencemar LAS dan logam Cu. Adapun pengujian COD, kadar LAS serta logam Cu dalam media dan tanaman dilakukan pada hari ke-28 setelah pemberian zat pencemar LAS dan logam berat Cu.

3.5.5 Pengamatan Perlakuan

Pengamatan yang diamati pada penelitian ini adalah kemampuan tanaman yang meliputi daya penyisihan dan efektivitas penyerapan LAS dan logam Cu oleh tanaman. Selain itu, pengamatan pada penelitian ini juga berupa morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia* seperti jumlah daun, biomassa tanaman serta perbedaan morfologi pada tanaman. Hal ini dilakukan untuk mengetahui respon morfologi pada tanaman saat terpapar zat pencemar LAS dan logam Cu. Parameter kualitas air yang diamati meliputi suhu, pH, TDS dan COD. Selain pengamatan, sesi dokumentasi juga dilakukan pada tiap satuan

percobaan. Adapun terkait parameter-parameter yang diamati pada penelitian ini secara rinci yakni sebagai berikut:

3.5.5.1 Kemampuan Absorpsi Tanaman

a. Kadar LAS dalam Media

Pengujian kadar LAS dalam media merupakan parameter utama dalam penelitian ini. Pengukuran kadar LAS dalam media dapat diuji langsung tanpa adanya perlakuan tambahan. Pengukuran kadar LAS dilakukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer Uv-Vis.

b. Kadar Cu dalam Media dan Tanaman

Pengujian kadar Cu dalam media dan tanaman juga merupakan parameter utama dalam penelitian ini. Pengukuran kadar logam Cu dalam tanaman dilakukan dengan pengeringan dan penghalusan sampel terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian. Sedangkan untuk sampel media dapat diuji langsung tanpa adanya perlakuan tambahan. Apabila sampel tidak langsung diuji, dapat dilakukan pengawetan dengan menambahkan HNO₃ pekat hingga pH < 2 pada suhu ruang. Pengukuran kadar Cu dilakukan dengan menggunakan instrumen *Automatic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

c. Perhitungan Nilai Daya Penyisihan (*Removal Efficiency*)

Perhitungan daya penyisihan zat pencemar LAS dan logam Cu pada penelitian ini ialah berdasarkan pada penurunan kadar masing-masing zat pencemar dalam media (mg/L) pada kurun waktu 28 hari. Adapun rumus perhitungan yang digunakan yakni sebagai berikut:

$$RE (\%) = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Keterangan:

A : Konsentrasi awal zat pencemar dalam air

B : Konsentrasi akhir zat pencemar dalam air

d. Perhitungan Nilai Efektivitas Penyerapan (*Absorption Efficiency*)

Perhitungan nilai efektifitas penyerapan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman. Adapun rumus yang digunakan yakni sebagai berikut:

$$AE (\%) = \frac{\text{Kadar logam tanaman}}{\text{Kadar logam pada media awal}} \times 100$$

3.5.5.2 Respon Pertumbuhan Tanaman

a. Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan satu kali dalam satu minggu. Jenis daun yang dihitung yakni daun yang telah terbuka sempurna. Hal ini dikarenakan daun tersebut telah melakukan proses fotosintesis secara

maksimal. Perhitungan ini dilakukan secara manual dengan mengamati tanaman secara langsung (non destruktif).

b. Respon Morfologi Tanaman

Pengamatan respon morfologi tanaman dilakukan dengan cara mengamati secara langsung seluruh bagian tanaman. Adapun parameter yang diamati yakni warna dan struktur daun, bentuk dan warna batang, bentuk dan warna akar serta kelainan fisiologi tanaman seperti klorosis dan nekrosis. Pengamatan respon morfologi tanaman memiliki tujuan yakni mengetahui perubahan morfologi serta adaptasi suatu tanaman saat terkena paparan zat pencemar LAS dan logam Cu. Pengamatan respon morfologi tanaman dilakukan satu kali dalam satu minggu.

c. Biomassa Tanaman (Berat Basah dan Berat Kering)

Pengukuran berat basah tanaman dilakukan setelah pengamatan pada hari ke-28. Sampel yang akan diukur berat basahnya harus segera ditimbang agar berat basah pada tanaman tidak berkurang. Bagian tanaman yang diukur ialah seluruh bagian mulai dari akar hingga tajuk. Penimbangan berat basah tanaman dilakukan dengan metode destruktif dan menggunakan alat timbangan digital.

Pengukuran berat kering tanaman dilakukan dengan cara mengering-anginkan tanaman. Setelah tanaman kering kemudian di oven dengan tujuan menghilangkan kadar air dalam tanaman. Pengeringan dalam oven dilakukan selama ± 2 hari pada suhu 100°C hingga menunjukkan nilai konstan. Bagian tanaman yang ditimbang ialah seluruh bagian mulai dari akar hingga tajuk. Penimbangan berat kering tanaman dilakukan dengan metode deskriptif dan menggunakan alat timbangan analitik.

Biomassa tanaman dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada metode SNI 13-6793-2002, yakni:

$$BM (\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Keterangan:

A : Berat basah tanaman (g)

B : Berat kering tanaman (g)

3.5.5.3 Parameter Kualitas Air

a. Suhu

Suhu dapat diukur menggunakan alat TDS & EC meter dengan cara membuka tutup TDS & EC meter lalu ditekan tombol on/off kemudian dicelupkan ke dalam media hingga tanda batas (garis tutup TDS & EC meter). Pembacaan nilai pada TDS meter dapat dicatat secara langsung, tetapi apabila ingin mempertahankan nilai

ketika alat diangkat dari media maka dapat menekan tombol hold.

b. pH

Derajat keasaman/pH dapat diukur menggunakan alat pH meter dengan cara membuka tutup pH meter dan ditekan tombol on/off kemudian dicelupkan ke dalam media hingga tanda batas (garis tutup pH meter). Ditunggu beberapa waktu hingga angka stabil dan tidak berubah-ubah kemudian dicatat nilainya.

c. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS dapat diukur menggunakan alat TDS & EC meter dengan cara membuka tutup TDS & EC meter lalu ditekan tombol on/off kemudian dicelupkan ke dalam media hingga tanda batas (garis tutup TDS & EC meter). Pembacaan nilai pada TDS meter dapat dicatat secara langsung, tetapi apabila ingin mempertahankan nilai ketika alat diangkat dari media maka dapat menekan tombol hold.

d. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD dapat diukur menggunakan metode refluks tertutup secara titrimetri. Analisis ini mengacu pada penelitian Sibarani (2015) yang terdapat pada lampiran 2.

3.5.6 Pemanenan, Destruksi dan Uji Laboratorium

a. Pemanenan

Pemanenan dilakukan dengan cara mengambil tanaman secara langsung untuk ditimbang berat basah nya. Pengujian kadar LAS dan logam Cu pada media dilakukan pada hari ke-28 setelah pemberian zat pencemar LAS dan logam Cu, begitupun dengan pengukuran kadar logam berat Cu dalam tanaman juga dilakukan satu kali yakni pasca fitoremediasi. Pengukuran ini dilakukan dengan mengambil sampel media sebanyak 50 ml dan sampel berat kering tanaman *Sagittaria lancifolia* sebanyak 5 g.

b. Destruksi

Setelah tahap pemanenan, langkah selanjutnya ialah destruksi sampel tanaman. Destruksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah destruksi basah. Langkah pertama ialah pengeringan sampel dengan cara dikering-anginkan lalu di oven selama ± 2 hari pada suhu 100°C . Apabila sampel dirasa kering, tahap selanjutnya yakni penghalusan sampel dengan blender kemudian ditimbang sebanyak 1 g. Proses destruksi ini dilakukan dengan menambahkan zat pengoksidasi HNO_3 dan HClO_4 dengan perbandingan 2:1 (10 ml : 5 ml). Sampel dipanaskan dengan water bath pada suhu 100°C hingga tidak ada endapan dan terbentuk larutan jernih. Setelah itu, sampel disaring dengan kertas saring *whatman* 42 agar larutan bebas dari pengotor. Tahap terakhir yakni dengan mengencerkan sampel menggunakan HNO_3 0,5 M (Taufikurrahman, 2016).

c. Uji Laboratorium

Apabila seluruh sampel telah terkumpul dengan baik, selanjutnya dilakukan pengujian kandungan LAS pada media sesuai dengan SNI 06-6989.51-2005 menggunakan metode MBAS (*Metylen Blue Active Surfactant*) dengan alat spektrofotometer Uv-Vis. Sedangkan pengujian kandungan logam Cu pada tanaman dan media sesuai dengan SNI 6989.6:2009 menggunakan alat *Automatic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Adapun beberapa tahapan pada pengujian kandungan LAS dan logam Cu, dapat dilihat pada lampiran 3.

3.6 Analisis Data

Analisis data pada beberapa parameter seperti daya penyisihan, efektivitas penyerapan dan perubahan morfologi tanaman dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan menghitung maupun mengamati secara langsung. Adapun teknik analisis data menggunakan aplikasi SPSS, dimana pada analisis tersebut harus melalui uji prasyarat yakni uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas dianalisis menggunakan uji *Saphiro-Wilk* dan uji homogenitas menggunakan uji *Levene*.

Apabila data pada parameter kadar LAS dan Cu berdistribusi normal, maka dapat dianalisis menggunakan uji T 2-Samples Paired dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan kadar sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi. Sedangkan, jika data terbukti tidak berdistribusi normal, maka dapat dilakukan uji non-parametrik yakni uji Wilcoxon. Apabila data pada parameter lain seperti jumlah daun dan biomassa tanaman berdistribusi normal dan homogen,

maka dapat dianalisis menggunakan uji parametrik One Way Anova dengan taraf kesalahan 5%. Uji ini memiliki tujuan untuk mengetahui adanya perbedaan pengaruh tiap-tiap perlakuan terhadap parameter yang diamati. Apabila uji ini telah dilakukan dan hasil menunjukkan perbedaan nyata, maka dapat dilakukan uji lanjutan yakni uji Post-Hoc LSD (*Least Significant Different*) untuk mengetahui perbedaan pada masing-masing perlakuan. Sedangkan, jika data terbukti tidak berdistribusi normal dan tidak homogen, maka dapat dilakukan uji non-parametrik yakni uji Kruskal Wallis.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Kualitas Air

Pengamatan parameter kualitas air bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* terhadap zat pencemar LAS dan logam Cu dalam perairan serta pengontrol pertumbuhan serta perkembangan tanaman *Sagittaria lancifolia* selama treatment fitoremediasi. Pada penelitian ini, parameter kualitas air yang diukur ialah suhu, pH, TDS (*Total Dissolved Solid*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Adapun hasil pengamatan terkait parameter kualitas air, yakni sebagai berikut:

4.1.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu komponen pendukung dalam pengukuran parameter kualitas air yang bertujuan untuk mengetahui kondisi lingkungan selama pengamatan. Parameter ini berhubungan dengan adanya proses metabolisme serta fotosintesis pada tanaman. Sehingga apabila terjadi peningkatan suhu, maka secara tidak langsung juga akan berdampak pada penyerapan nutrisi tanaman (Kustiyaningsih & Rony, 2020). Banyaknya sinar matahari yang masuk pada tanaman dan media juga dapat mempengaruhi suhu selama pengamatan. Jika suhu tidak stabil, maka dapat berdampak pada ketidakseimbangan proses biokimia serta mikrobiologi (Basri & Erlina, 2015).

Tabel 4.1 Suhu media (°C)

Variasi Konsentrasi	Suhu (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S ₀	27,7	28,6	28,6	29,6	29,6	29,6	29,6	27,9	26,3	26,8
S ₁	27,1	28,3	28,5	29,5	29,7	29,7	28,8	27,2	26	26,2
S ₂	29,2	28,2	28,4	29,6	29,2	29,6	28,4	27,2	26,8	26,9
S ₃	29,5	29,6	28,5	29,1	29,5	29,2	27,8	26,6	26	26,3
S ₄	28,4	28,7	28,4	29,8	29,3	29,4	28	27,3	26,2	26,2
S ₅	28,4	28,5	28,5	29,7	29,8	29,5	28,1	27,6	26	26,2
S ₆	27,4	28,4	28,5	29,4	29,9	29,2	28,1	27,6	26,1	26

Variasi Konsentrasi	Suhu (°C)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S ₀	28,3	29	28,3	27,3	28	27,8	28,4	29,7	29,3	29,7
S ₁	28,2	29,3	27,9	26,6	28,1	27,4	27,8	29,3	29,1	29
S ₂	28,1	29	27,6	26,2	28,2	27,1	26,7	29,3	29	29
S ₃	28,1	28,5	27,1	26,7	28,5	27	26,8	29,2	28,7	28,5
S ₄	28	28,9	27,4	26,6	28	27,3	27,3	29	28,8	28,4
S ₅	28,2	28,8	27,4	26,6	28,1	27,3	27,3	29	28,5	28,5
S ₆	28,2	28,6	26,8	28,1	28,1	27,4	27,1	29	28,5	28,7

Variasi Konsentrasi	Suhu (°C)							
	21	22	23	24	25	26	27	28
S ₀	29	28	27,1	29	27,7	29,2	26,6	26,6
S ₁	28,5	27,3	26,7	28,5	26,4	28,4	26,2	26,6
S ₂	28,1	27,3	26,5	27,8	26,6	28,3	26,3	26,3
S ₃	28,1	27	26,7	27,8	26,4	28,1	26,2	26,3
S ₄	28	26,7	26,6	27,6	26,5	28,1	26,2	26,3
S ₅	28	27,1	26,7	27,5	26,3	28	26,2	26,3
S ₆	28	27	27,3	27,5	26,3	27,9	26,2	26,3

Keterangan: S₀: Kontrol; S₁: LAS 10 mg/L; S₂: LAS 30 mg/L; S₃: LAS 50 mg/L; S₄: LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; S₅: LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L; S₆: LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L

Tabel 4.1 merupakan nilai suhu berdasarkan pengamatan selama 28 hari. Dapat diketahui bahwa nilai suhu sangat fluktuatif, tetapi rata-rata suhu pada saat pengamatan berkisar antara 27,8°C - 28,3°C. Nilai

tersebut masih sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 mengenai baku mutu suhu yakni berkisar antara 26°C – 32°C. Nilai suhu yang bervariasi ini dapat disebabkan oleh cahaya matahari dan proses penguapan (Rukminasari et al., 2014). Ikawati et al (2017) mengungkapkan bahwa semakin tinggi suhu media, maka juga semakin tinggi pula laju penyerapan nutrisi oleh tanaman. Namun peningkatan suhu yang ekstrim atau terlalu tinggi juga dapat bersifat toksik bagi tanaman, seperti halnya pendenaturasian enzim yang akan menyebabkan kerusakan pada fotosistem tanaman (Ruelland & Alain, 2010).

4.1.2 Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan salah satu komponen penting dalam pengukuran parameter kualitas air yang bertujuan untuk mengetahui pH pada media pertumbuhan tanaman. Media yang terlalu asam ataupun terlalu basah akan memberi pengaruh terhadap daya penyerapan nutrisi oleh tanaman, meskipun pada media tersebut telah dipenuhi unsur hara (Baroroh et al., 2018). Karoba et al (2015) juga berpendapat bahwa kondisi pH yang tidak optimal akan berpengaruh pada penyerapan unsur hara oleh tanaman dan akan berpotensi menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lambat. Umumnya, pH optimal yakni pH netral dengan kisaran nilai sebesar 6,7 - 8,5. Nilai ini dianggap sebagai kisaran penyerapan senyawa yang cukup baik oleh tanaman pada media tanam (Siswandari et al., 2016).

Adapun hasil pengukuran pH pada penelitian ini dengan waktu

detensi 28 hari. Data nilai pH disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 pH

Variasi Konsentrasi	pH									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S ₀	7,26	7,54	7,71	7,8	7,98	7,92	7,98	7,97	7,96	7,82
S ₁	7,37	7,55	7,77	7,68	7,77	7,91	8,07	8,16	8,16	8,01
S ₂	7,41	7,47	7,68	7,59	7,69	7,71	7,84	7,94	8,01	7,94
S ₃	7,36	7,57	7,68	7,67	7,72	7,78	7,87	8,03	8,1	7,98
S ₄	7,32	7,5	7,71	7,71	7,53	7,63	7,75	7,84	7,92	7,86
S ₅	7,53	7,49	7,65	7,65	7,63	7,44	7,42	7,51	7,66	7,67
S ₆	7,48	7,47	7,6	7,56	7,58	7,54	7,56	7,62	7,61	7,49

Variasi Konsentrasi	pH									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S ₀	7,82	7,87	7,83	7,93	7,63	7,72	7,62	7,79	7,73	7,79
S ₁	8,42	8,38	8,41	8,46	8,48	8,49	8,42	8,5	8,46	8,5
S ₂	8,27	8,21	8,18	8,21	8,3	8,34	8,29	8,25	8,18	8,24
S ₃	8,25	8,25	8,21	8,32	8,36	8,5	8,41	8,38	8,39	8,4
S ₄	8,01	8	8,03	8,06	8,21	8,3	8,31	8,41	8,46	8,5
S ₅	7,89	7,92	8	8,05	8,24	8,33	8,35	8,42	8,43	8,5
S ₆	7,49	7,51	7,64	7,76	7,91	8,06	8,09	8,19	8,29	8,38

Variasi Konsentrasi	pH							
	21	22	23	24	25	26	27	28
S ₀	7,71	7,73	7,75	7,66	7,61	7,67	7,21	7,42
S ₁	8,46	8,42	8,49	8,5	8,5	8,49	8,4	8,3
S ₂	8,18	8,21	8,23	8,14	8,21	8,27	8,2	8,23
S ₃	8,35	8,39	8,36	8,31	8,25	8,28	8,1	8,14
S ₄	8,49	8,46	8,45	8,48	8,43	8,47	8,5	8,48
S ₅	8,48	8,49	8,52	8,42	8,43	8,41	8,29	8,22
S ₆	8,3	8,31	8,33	8,22	8,24	8,23	8,2	8,2

Keterangan: S₀: Kontrol; S₁: LAS 10 mg/L; S₂: LAS 30 mg/L; S₃: LAS 50 mg/L; S₄: LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; S₅: LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L; S₆: LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L

Pada tabel 4.2 terlihat bahwasannya 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. Nilai tersebut masih sesuai dengan Peraturan KLHK No. 68 Tahun 2016 mengenai baku mutu pH air limbah domestik yakni berkisar antara 6 - 9. Berdasarkan hasil di atas, diketahui nilai pH pada masing-masing variasi konsentrasi mengalami peningkatan, meskipun peningkatannya tidak signifikan dan cenderung fluktuatif. Hal ini disebabkan karena perbedaan variasi konsentrasi pada masing-masing perlakuan tidak berbeda jauh. Perubahan nilai pH juga dapat disebabkan oleh proses fotosintesis serta respirasi tanaman maupun mikroorganisme dalam air (Suryadi et al., 2017). Reaksi fotosintesis tersebut akan mengubah hidrogen, energi serta CO_2 menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Hidrogen diperoleh dari ion H^+ zat pencemar dan udara. Pada proses fotosintesis, pengambilan ion H^+ secara otomatis akan meningkatkan pH dalam air (Widya et al., 2015).

Selain itu, perubahan nilai pH dapat disebabkan karena terjadinya pelepasan gugus sulfonat dari LAS yang teroksidasi menjadi sulfat dan bereaksi dengan OH^- (Fatikasari & Tarzan, 2022). Adanya kandungan Cu pada beberapa variasi konsentrasi dalam media juga memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai pH. pH awal cenderung lebih asam apabila dibandingkan setelah kontak dengan tanaman. Hal ini dikarenakan terdapat logam Cu dengan konsentrasi tinggi pada media (Sekarwati et al., 2015). Basri & Erlina (2015) mengungkapkan bahwa kenaikan nilai pH mengindikasikan terjadinya penurunan kadar logam berat dalam media, dikarenakan logam tersebut telah terserap oleh tanaman.

4.1.3 TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan bahan terlarut dalam air yang tidak mengendap dan berasal dari sumber organik maupun anorganik (Munadia, 2020). Nilai TDS berhubungan dengan kekeruhan dalam air, apabila pada suatu media atau lingkungan perairan memiliki nilai TDS yang tinggi, maka media atau lingkungan tersebut memiliki air yang keruh. Keruhnya air tersebut dapat mempengaruhi proses fotosintesis pada tanaman (Afifudin, 2022).

Tabel 4.3 TDS (*Total Dissolved Solid*)

Variasi Konsentrasi	TDS/ <i>Total Dissolved Solid</i> (mg/L)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S ₀	111	133	138	138	135	152	142	149	147	146
S ₁	111	138	137	138	141	157	157	155	150	147
S ₂	128	138	141	141	144	158	159	155	156	137
S ₃	128	138	141	142	141	149	160	162	157	155
S ₄	133	134	140	139	144	148	151	153	153	139
S ₅	121	133	137	138	143	157	152	145	153	146
S ₆	121	135	137	138	145	141	154	154	150	145

Variasi Konsentrasi	TDS/ <i>Total Dissolved Solid</i> (mg/L)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S ₀	163	159	146	144	146	144	135	141	153	151
S ₁	159	153	144	147	141	138	150	127	144	137
S ₂	162	169	143	152	153	142	156	125	152	161
S ₃	161	167	156	157	161	157	173	136	190	171
S ₄	173	155	154	161	163	155	162	171	163	163
S ₅	166	167	145	141	142	148	132	159	171	163
S ₆	165	164	144	132	156	154	160	165	169	165

Variasi Konsentrasi	TDS/Total Dissolved Solid (mg/L)							
	21	22	23	24	25	26	27	28
S ₀	138	147	134	126	145	119	153	148
S ₁	143	144	155	153	140	151	134	155
S ₂	174	142	170	171	158	150	157	164
S ₃	178	149	186	175	170	149	176	163
S ₄	164	159	137	142	120	135	139	135
S ₅	163	153	157	161	155	154	151	144
S ₆	172	174	174	180	168	180	169	178

Keterangan: S₀: Kontrol; S₁: LAS 10 mg/L; S₂: LAS 30 mg/L; S₃: LAS 50 mg/L; S₄: LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; S₅: LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L; S₆: LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L

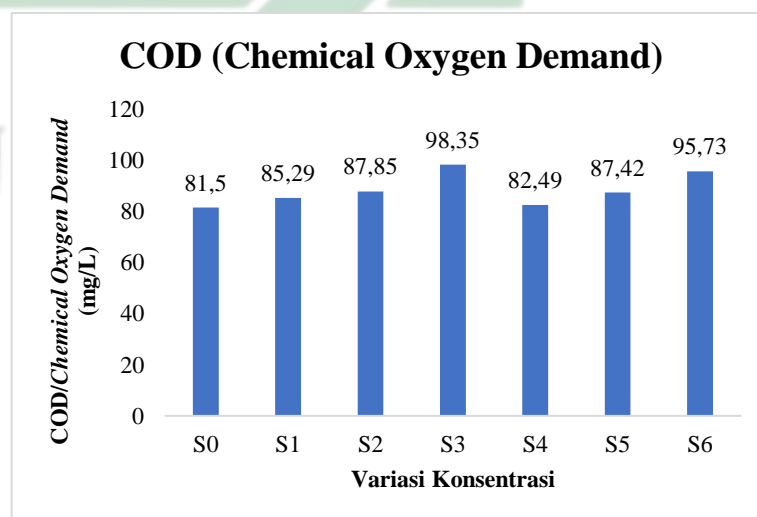
Tabel 4.3 merupakan pengukuran nilai TDS selama 28 hari. Dapat diketahui bahwa hasil TDS memiliki nilai yang sangat fluktuatif. Hasil nilai TDS yang diperoleh dapat dikatakan normal dikarenakan masih sesuai dengan nilai standar baku mutu yang ditetapkan yakni sebesar 2000 mg/L. Tingginya nilai TDS pada media disebabkan oleh banyaknya kandungan senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral serta garam (Effendi, 2003). Selain itu, peningkatan nilai TDS juga dikarenakan adanya molekul sisa air buangan seperti detergen, sabun maupun surfaktan yang larut dalam air (Setiari et al., 2012).

Nilai TDS yang tinggi mengindikasikan bahwa adanya senyawa organik ataupun anorganik yang belum terdegradasi secara sempurna. Sedangkan, penurunan nilai TDS dapat disebabkan oleh partikel kecil yang terlarut dan mengalami fase metanogenik kemudian termodifikasi ke dalam bentuk gas dari proses bidegradasi mikroorganisme (Retnosari & Maya, 2013). 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 (Pratiwi & Mahanani, 2022). Pada kadar normal TDS tidak bersifat toksik, tetapi pada kadar yang tinggi dapat meningkatkan kekeruhan dalam air yang akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan berpengaruh terhadap proses fotosintesis serta menyebabkan kematian pada tanaman (Kustiyarningsih & Rony, 2020).

4.1.4 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) 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 (Harahap et al., 2020). Adapun hasil pengukuran COD pada hari ke-28. Grafik data nilai COD disajikan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik nilai COD

Keterangan: S0: Kontrol; S1: LAS 10 mg/L; S2: LAS 30 mg/L; S3: LAS 50 mg/L; S4: LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; S5: LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L; S6: LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L

Pada gambar 4.1 terlihat bahwasannya nilai COD 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. Nilai COD yang tinggi disebabkan oleh banyaknya senyawa organik maupun anorganik yang terdegradasi di dalam suatu perairan (Oladipo et al., 2017). Kandungan COD yang berlebihan pada suatu perairan akan berpengaruh terhadap oksigen terlarut sehingga menyebabkan penurunan kualitas perairan (Supriyantini et al., 2017). Dapat dilihat, bahwa nilai grafik perlakuan penggabungan LAS dan Cu lebih rendah apabila dibandingkan dengan perlakuan tanpa penggabungan. Hal ini dapat disebabkan oleh sebagian senyawa organik telah diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga mudah diserap oleh tanaman untuk proses metabolismenya (Rukmi et al., 2013). Selain itu, rendahnya nilai COD juga dapat disebabkan oleh banyaknya suplai oksigen terlarut dari hasil fotosintesis sehingga dekomposisi bahan organik menjadi lebih efektif (Haberl, 1999). Harahap et al (2020) juga berpendapat, bahwa rendahnya nilai COD berhubungan dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik.

4.2 Kemampuan Absorpsi Tanaman

Kemampuan absorpsi tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam menyerap LAS dan Cu dapat diketahui dengan beberapa parameter pengukuran, diantaranya ialah kadar LAS dalam media, kadar Cu dalam media dan tanaman, daya penyisihan serta efektifitas penyerapan. Adapun hasil pengamatan secara rinci

terkait beberapa parameter pada penelitian ini, yakni sebagai berikut:

4.2.1 Kadar LAS dalam Media

Pengukuran kadar *Linear Alyklbenzene Sulfonates* (LAS) dalam media air bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam mengabsorpsi LAS. Pengukuran kadar LAS pada media dilakukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer Uv-Vis. Adapun parameter yang diukur yakni kandungan LAS pada media diawal dan diakhir pengamatan. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui zat pencemar LAS yang tersisih pada media.

Tabel 4.4 Kadar LAS dalam media

Variasi Konsentrasi	Keterangan	LAS Media (mg/L)	LAS Tersisih (mg/L)
S ₀	Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)	0	0
S ₁	LAS 10 mg/L	0,46	9,54
S ₂	LAS 30 mg/L	16,03	13,97
S ₃	LAS 50 mg/L	36,22	13,78
S ₄	LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L	0,42	9,58
S ₅	LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L	15,35	14,65
S ₆	LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L	31,43	18,57

Tabel 4.4 merupakan hasil pengukuran dan analisis kandungan LAS pada media. Penurunan kadar LAS paling optimal terdapat pada variasi konsentrasi S₄ (LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L). Tabel diatas juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi LAS pada media maka semakin rendah kandungan LAS yang terserap oleh tanaman, sedangkan semakin rendah konsentrasi LAS pada media maka semakin tinggi kandungan LAS yang terserap oleh tanaman. Hal ini dapat

disebabkan oleh toksisitas LAS yang mempengaruhi proses fisiologis serta metabolisme tanaman, mengingat tidak semua tanaman dapat mengabsorpsi kontaminan dalam jumlah yang besar dikarenakan setiap tanaman memiliki batas toleransi terhadap zat pencemar yang berbeda-beda (Hidayati, 2020). Hasil analisis statistika juga menunjukkan besarnya nilai sig yakni 0,001, dimana terdapat perbedaan antara kadar LAS dalam media sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi. LAS yang tersisih atau hilang dalam media, pada dasarnya diasumsikan telah terserap oleh tanaman.

Pada perlakuan penggabungan LAS dan logam Cu mengalami penurunan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan tanpa adanya penggabungan meskipun penurunannya tidak signifikan. Menurut Yong et al (2008), hal ini dapat terjadi karena adanya penggabungan zat pencemar yang memungkinkan terjadinya suatu ikatan seperti perubahan permeabilitas (kemampuan yang dimiliki oleh suatu zat ataupun membran untuk melewati sejumlah partikel yang melaluinya) oleh LAS yang terkandung dalam air dan pemecahan rantai organik.

Senyawa LAS akan bereaksi dengan ion logam yang memungkinkan terjadinya pemecahan rantai LAS, sehingga akan mudah terabsorpsi oleh tanaman. Senyawa LAS mengandung gugus sulfonat yang dapat berikatan dengan ion logam. Gugus sulfonat tersebut akan melepaskan atom hidrogen dan akan membentuk senyawa polimer SO_3^- . Setelah hidrogen tersebut melepas oksigen, maka struktur senyawa LAS akan berikatan dengan ion logam dan terjadilah

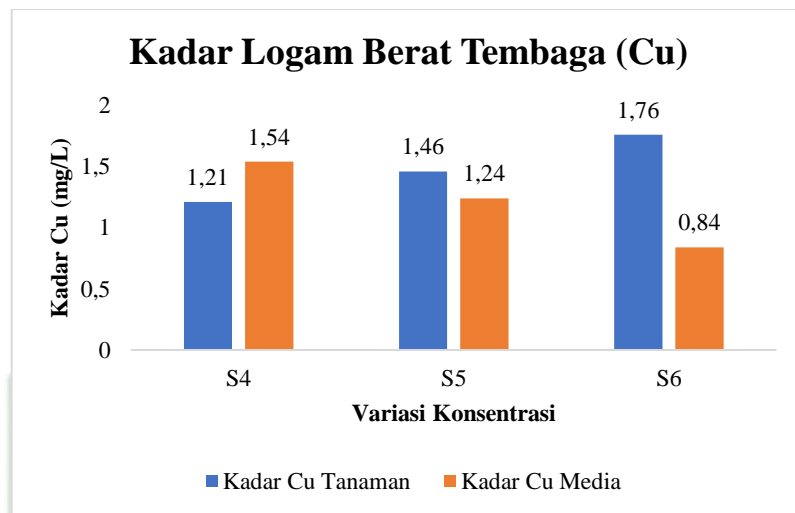
keterikatan pada gugus sulfonatnya, sehingga LAS akan lebih mudah untuk terabsorpsi (Andiarna et al., 2022).

Hal ini juga didukung oleh teori reaksi substitusi elektrofilik dimana substrat karbon yang bermuatan negatif (sumber elektron) akan berikatan dengan substrat karbon yang bermuatan positif (kekurangan elektron) (Setiawan, 2015). Senyawa LAS memiliki muatan negatif yang sangat mudah mendapatkan serangan elektrofilik dikarenakan terdapat benzene yang kaya akan electron π (Wade, 2013). Awan elektron pada cincin benzena merupakan suatu sumber elektron, akan tetapi terdapat kestabilan pada struktur cincinnya sehingga hanya dapat mengalami reaksi substitusi oleh elektrofilik (Usman, 2021). Logam Cu yang bermuatan positif akan mensubstitusi ikatan pada rantai karbon LAS, sehingga logam Cu yang kekurangan elektron akan berikatan dengan elektron yang ada pada senyawa LAS. Kemudian, logam Cu akan menyerang ikatan-ikatan yang memiliki awan elektron dan menyebabkan pemecahan rantai pada senyawa LAS.

4.2.2 Kadar Cu dalam Media dan Tanaman

Pengukuran kadar logam berat tembaga (Cu) dalam media serta tanaman *Sagittaria lancifolia* bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam mengabsorpsi logam berat Cu. Pengukuran kadar logam Cu dilakukan dengan menggunakan instrumen AAS. Adapun beberapa parameter yang diukur yakni kandungan logam Cu pada media diawal dan diakhir pengamatan serta kandungan Cu pada tanaman. Pengukuran tersebut bertujuan untuk

mengetahui total logam yang terakumulasi dalam tanaman dan logam yang tersisih pada media.



Gambar 4.2 Grafik kadar logam Cu dalam media dan tanaman

Keterangan: S4: LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L; S5: LAS 30 mg/L + Cu 3 mg/L;
S6: LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L

Gambar 4.2 merupakan hasil pengukuran dan analisis kandungan logam Cu pada media dan tanaman *Sagittaria lancifolia*. Penurunan kadar logam Cu paling optimal terdapat pada perlakuan S₆ (LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L). Grafik diatas juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi zat pencemar pada media maka semakin tinggi pula kandungan logam yang terserap pada tanaman. Hal ini dibuktikan dengan semakin berkurangnya kandungan logam Cu dalam media. Hasil analisis statistika menunjukkan besarnya nilai sig pada kadar Cu media yakni sebesar 0,077 dan kadar Cu tanaman sebesar 0,050, dimana tidak ada perbedaan nyata antara kadar logam Cu dalam media sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi berupa pemaparan oleh tanaman.

Penurunan kadar logam Cu tentunya dipengaruhi oleh mekanisme penyerapan yang baik oleh tanaman *Sagittaria lancifolia*. Mekanisme

tersebut melibatkan senyawa fitokhelatin sebagai cara untuk tanaman mempertahankan diri ketika sel-selnya berada pada cekaman logam berat (Santosa et al., 2013). Senyawa ini dapat terbentuk ketika suatu tanaman terpapar logam, kemudian mengikat logam tersebut dan membawanya ke dalam vakuola dimana logam tidak akan bersifat toksik lagi (Wulandari et al., 2018). Fitokhelatin (PC) merupakan glutathione berukuran kecil yang diturunkan oleh sintesis peptida enzimatis yang mengikat logam dan merupakan bagian utama dalam sistem detoksifikasi logam pada tanaman (Ali et al., 2013).

Widyawati & Sunu (2021) juga berpendapat bahwa penurunan logam Cu dapat dipengaruhi oleh faktor internal yakni berupa peristiwa penyerapan dalam akar tanaman dibantu oleh adanya mikroorganisme di sekitar permukaan akar (*Rhizodegradation*). Peran mikroorganisme yakni sebagai pendekomposisi unsur-unsur organik dan anorganik yang melekat pada permukaan akar dan telah melalui tahap filtrasi. Mekanisme filtrasi dilakukan oleh rambut halus akar pada akar serabut tanaman.

Logam yang hilang dalam media, pada dasarnya diasumsikan telah terserap oleh tanaman. Namun, apabila dilihat pada grafik 4.3 terdapat selisih antara logam pada media dan logam pada tanaman dikarenakan Cu yang hilang atau tersisih dari media tidak hanya terserap oleh tanaman, tetapi juga terevaporasi ke udara (*Evapotranspirasi*) (Syranidou et al., 2017). Selain itu, logam juga tidak sepenuhnya

terserap dalam akar tanaman dikarenakan mengendap pada dasar dan membentuk molekul-molekul garam dalam air (Novita et al., 2012).

4.2.3 Daya Penyisihan (*Removal Efficiency*)

Perhitungan daya penyisihan pada penelitian ini didasarkan pada penurunan kadar LAS dan logam berat Cu dalam air (mg/L).

Tabel 4.5 Daya penyisihan

Variasi Konsentrasi	Keterangan	Daya Penyisihan	
		LAS	Cu
S ₀	Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)	-	-
S ₁	LAS 10 mg/L	95%	-
S ₂	LAS 30 mg/L	47%	-
S ₃	LAS 50 mg/L	28%	-
S ₄	LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L	96%	49%
S ₅	LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L	49%	59%
S ₆	LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L	37%	72%

Pada tabel 4.5 menunjukkan persentase daya penyisihan atau *removal efficiency*. Daya penyisihan LAS paling optimal terdapat pada variasi konsentrasi S₄ (LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L) yakni sebesar 96%. Sedangkan daya penyisihan logam Cu paling optimal terdapat pada perlakuan S₆ (LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L) yakni sebesar 72%. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi zat pencemar yang diberikan, maka daya penyisihan LAS semakin menurun. Hal ini dapat disebabkan oleh toksisitas zat pencemar yang mempengaruhi proses fisiologis serta metabolisme tanaman (Abbas et al., 2019). Namun, daya penyisihan pada logam Cu mengalami peningkatan seiring dengan tingginya konsentrasi LAS yang diberikan. Begitu pula pada perlakuan

penggabungan LAS dan logam Cu memiliki persentase daya penyisihan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan tanpa adanya penggabungan. Daya penyisihan yang relatif tinggi tersebut berhubungan dengan kemampuan tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam menguraikan senyawa organik sehingga mudah diserap oleh tanaman untuk proses metabolismenya (Rukmi et al., 2013). Pada umumnya, daya penyerapan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya ialah luas permukaan serapan, jenis dan sifat zat pencemar, konsentrasi zat pencemar, waktu detensi, pH dan suhu (Basri & Erlina, 2015). Selain itu, jenis tanaman, jumlah tanaman serta umur tanaman juga dapat mempengaruhi persentase daya penyisihan (Rahadian et al., 2017).

4.2.4 Efektivitas Penyerapan (*Absorption Efficiency*)

Perhitungan efektifitas penyerapan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam Cu oleh tanaman *Sagittaria lancifolia*.

Tabel 4.6 Efektivitas penyerapan

Variasi Konsentrasi	Keterangan	Efektivitas Penyerapan
S ₀	Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)	-
S ₄	LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L	40%
S ₅	LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L	49%
S ₆	LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L	59%

Kemampuan tanaman dalam mengabsorpsi serta mengakumulasi logam berat dapat ditentukan oleh rumus efektifitas penyerapan. Pada tabel 4.6 terlihat bahwasannya efektifitas penyerapan terendah terdapat

pada perlakuan logam LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L yakni sebesar 40%. Sedangkan efektivitas penyerapan tertinggi terdapat pada perlakuan LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L yakni sebesar 59%. Suatu tanaman dapat dikatakan efektif sebagai tanaman hiperakumulator apabila memiliki nilai efektivitas lebih dari 50% (Djo et al., 2017). Berdasarkan hasil pengamatan, dapat diketahui bahwa tanaman *Sagittaria lancifolia* efektif menyerap logam Cu dalam waktu 4 minggu pada variasi konsentrasi S₆ (LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L).

4.3 Respon Pertumbuhan Tanaman

Pada penelitian ini, pengamatan respon pertumbuhan tanaman sangatlah penting dan diperlukan. Hal ini dikarenakan ketika tanaman terpapar zat pencemar dalam konsentrasi tinggi, umumnya tanaman akan memberikan respon berupa perubahan morfologi maupun fisiologi. Adapun pengamatan respon pertumbuhan tanaman pada penelitian ini, diantaranya yakni jumlah daun, perubahan morfologi tanaman serta biomassa tanaman berupa berat basah dan berat kering tanaman.

4.3.1 Jumlah Daun

Daun adalah salah satu bagian tanaman yang memiliki fungsi sebagai tempat sintesis makanan pada proses metabolismenya. Semakin banyak jumlah daun pada suatu tanaman, maka semakin banyak pula tempat bagi tanaman untuk memproduksi makanannya (Ardiansyah, 2017).

Tabel 4.7 Jumlah daun

Variasi Konsentrasi	Keterangan	Jumlah Daun	
		Sebelum	Sesudah
S ₀	Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)	3	7
S ₁	LAS 10 mg/L	4	7
S ₂	LAS 30 mg/L	4	6
S ₃	LAS 50 mg/L	4	6
S ₄	LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L	3	6
S ₅	LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L	4	6
S ₆	LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L	3	5

Pada tabel 4.7 terlihat bahwa rata-rata jumlah daun sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi mengalami penambahan. Adanya penambahan rata-rata jumlah daun menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh antara paparan zat pencemar LAS dan logam Cu terhadap jumlah daun pada tanaman *Sagittaria lancifolia*. Pada pengamatan ini juga dilakukan uji statistik antara jumlah daun sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi. Nilai sig pada jumlah daun sebelum treatment yakni sebesar 0,175 dan sesudah treatment sebesar 0,271. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan nyata antara jumlah daun sebelum dan sesudah treatment fitoremediasi. Pernyataan ini sesuai dengan tabel 4.7 yang menunjukkan adanya penambahan pada jumlah daun hanya sebanyak 2-4 helai pada tiap-tiap perlakuan.

4.3.2 Morfologi Tanaman

Pengamatan morfologi tanaman bertujuan untuk mengetahui adaptasi serta perubahan morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia* terhadap paparan zat pencemar LAS dan logam Cu. Adapun uraian

terkait perubahan morfologi tanaman setelah terpapar LAS dan logam Cu selama 28 hari yang tersaji pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perubahan morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia*

Variasi Konsentrasi	Waktu Detensi			
	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
S ₀	-	-	-	-
S ₁	-	2 ujung daun mengalami klorosis hingga nekrosis	-	1 helai daun mengalami nekrosis
S ₂	-	-	1 helai daun mengalami klorosis	1 helai daun mengalami nekrosis
S ₃	5 helai daun mengalami klorosis hingga nekrosis	1 helai daun mengalami nekrosis, 3 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian	1 pangkal daun mengalami klorosis hingga nekrosis, 1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian	-
S ₄	-	1 helai daun mengalami klorosis hingga nekrosis	1 pangkal daun mengalami nekrosis	1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian
S ₅	1 helai daun mengalami klorosis hingga nekrosis	1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian	2 pangkal daun mengalami klorosis hingga nekrosis, 1 helai daun mengalami klorosis hingga nekrosis	1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian
S ₆	-	1 helai daun, 2 ujung dan tepi daun serta 1 tengah daun mengalami klorosis hingga nekrosis	1 helai daun mengalami klorosis, 3 pangkal daun mengalami nekrosis, 1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian	1 helai daun mengalami nekrosis, 1 helai daun mengalami kekeringan dan terindikasi kematian

Pada uraian tabel 4.8 terlihat bahwa pada minggu ke-1 tanaman tidak menunjukkan perubahan morfologi secara signifikan baik pada

bagian akar maupun tajuk. Tetapi pada beberapa variasi konsentrasi, daun mengalami kelainan fisiologi seperti klorosis dan nekrosis. Sedangkan pada minggu ke-2, 3 dan 4, beberapa helai daun mengalami kelainan fisiologi seperti klorosis dan nekrosis serta kekeringan hingga terindikasi kematian. Adapun beberapa contoh kelainan fisiologi pada tanaman *Sagittaria lancifolia* dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.3 Klorosis pada daun



Gambar 4.4 Nekrosis pada daun



Gambar 4.5 Daun kering dan mati

Perubahan warna pada daun selama pengamatan dapat disebabkan oleh aktivitas zat pencemar LAS dan logam berat Cu yang berlebih secara kimiawi. Kandungan zat pencemar yang terserap oleh sel serta jaringan tanaman merupakan gejala awal dari toksisitas. Selain itu, waktu detensi juga dapat mempengaruhi perubahan warna daun hingga hilangnya klorofil pada daun (Rizkiaditama et al., 2017).

Perubahan warna pada daun serta kelainan fisiologi tidak tersebar

rata pada seluruh organ daun dan hanya ditemukan pada ujung, pangkal, tengah maupun tepi daun. Klorosis merupakan suatu bentuk perubahan warna kuning hingga pucat pada organ tanaman dan umumnya terdapat pada daun serta batang akibat terganggunya proses pembentukan klorofil (Rizkiaditama et al., 2017). Selain klorosis, beberapa daun juga mengalami gejala nekrosis. Nekrosis adalah suatu bentuk perubahan bagian serta warna tanaman menjadi kecoklatan hingga kering serta bintik coklat pada daun (Baroroh et al., 2018). Kerusakan kutikula dan stomata daun yang disebabkan oleh tingginya paparan zat pencemar dapat berdampak pada proses respirasi dan fotosintesis. Selain itu, keberadaan zat pencemar terutama logam berat dalam suatu organ tanaman dapat memicu terhambatnya pertumbuhan tanaman hingga terganggunya proses metabolisme pada bagian jaringan hingga sel-sel di sekitar meristem akar dan batang (Rizkiaditama et al., 2017).

Elawati et al (2015) juga berpendapat bahwa logam Cu yang berikatan dengan gugus asam amino memicu terhambatnya kerja enzim katalase dan struktur protein. Maka dari itu, gejala klorosis dan nekrosis pada daun *Sagittaria lancifolia* muncul secara bertahap seiring lamanya waktu detensi. Berdasarkan kondisi yang telah dipaparkan di atas, dapat diketahui bahwa tanaman *Sagittaria lancifolia* tidak memiliki pengaruh terhadap paparan LAS dan logam Cu selama 28 hari dibuktikan dengan warna akar serta tajuk yang masih dalam kondisi segar, bentuk serta strukturnya juga masih dalam kondisi kuat dan kokoh bahkan masih dapat tumbuh tunas daun baru.

4.3.3 Biomassa Tanaman

Pengukuran biomassa pada tanaman dilakukan dengan mengukur berat basah serta berat kering tanaman. Berat basah atau bobot segar merupakan berat tanaman pada saat panen, sebelum layu dan kehilangan air (Lussy et al., 2022). Selain itu, berat basah tanaman menunjukkan hasil aktivitas metabolisme serta hasil fotosintesis tanaman. Hal ini dikarenakan hasil dari fotosintesis digunakan untuk membentuk sel sehingga dapat berpengaruh pada berat basah tanaman (Ardiansyah, 2017). Sedangkan berat kering tanaman menunjukkan total biomassa yang dapat diserap oleh tanaman. Menurut Pratiwi et al (2021), berat kering pada suatu tanaman menggambarkan hasil akumulasi dari asimilasi CO₂ selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pertumbuhan tanaman dapat diperhitungkan, baik peningkatan berat basah ataupun akumulasi bahan kering. Oleh sebab itu, semakin baik tanaman tumbuh maka semakin berat pula berat keringnya.

Tabel 4.9 Biomassa tanaman

Variasi Konsentrasi	Keterangan	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Produksi Biomassa (%)
S ₀	Kontrol (Tanpa LAS dan logam Cu)	35,1	2,15	94%
S ₁	LAS 10 mg/L	28	2,5	91%
S ₂	LAS 30 mg/L	34,3	3	91%
S ₃	LAS 50 mg/L	36,9	3,2	91%
S ₄	LAS 10 mg/L + logam Cu 3 mg/L	23,4	1,97	92%
S ₅	LAS 30 mg/L + logam Cu 3 mg/L	44,5	5,11	89%
S ₆	LAS 50 mg/L + logam Cu 3 mg/L	64,3	7,69	88%

Tabel 4.9 merupakan hasil pengukuran biomassa tanaman *Sagittaria lancifolia*. Pengukuran berat basah dan berat kering tanaman dilakukan pada hari ke-28 pasca pemanenan. Biomassa tanaman pada perlakuan kontrol memiliki persentase tertinggi yakni sebesar 94%. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan tanaman yang baik serta kondisi suhu dan pH media yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman (Caroline & Guido, 2015). Persentase biomassa tanaman pada perlakuan yang mengandung zat pencemar lebih rendah apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan zat pencemar dalam media yang berlebih dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan berpengaruh pada biomassa tanaman yang rendah (Hardiani, 2008).

Perbedaan berat kering tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh berat basah tanaman, tetapi juga jumlah daun. Hal ini dikarenakan daun merupakan tempat akumulasi hasil fotosintesis pada suatu tanaman. Meningkatnya proses fotosintesis dapat menghasilkan senyawa organik yang nantinya akan bermigrasi pada seluruh organ tanaman dan mempengaruhi berat kering tanaman. Hasil dari berat kering tanaman merupakan hasil dari keseimbangan antara proses fotosintesis dan respirasi. Proses fotosintesis dapat meningkatkan berat kering dengan menyerap CO_2 , sedangkan respirasi dapat mengurangi berat kering dengan menghilangkan CO_2 . Apabila proses respirasi lebih besar dari fotosintesis, maka berat kering juga dapat berkurang begitupun sebaliknya (Ardiansyah, 2017).

Uji statistika pada pengamatan biomassa tanaman menunjukkan nilai signifikansi pada berat basah sebesar 0,071 dan berat kering sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan bahwasanya tidak ada perbedaan nyata pada berat basah di masing-masing perlakuan. Sedangkan, berat kering menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan pada masing-masing perlakuan. Dari hasil uji statistika, hasil berat kering yang paling optimal terdapat pada variasi konsentrasi S₄ (LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L) dibuktikan dengan hasil uji yang memiliki nilai *mean difference* tertinggi yakni sebesar 5.73000*. Pernyataan ini juga didukung oleh hasil persentase produksi biomassa paling optimal pada perlakuan dengan adanya zat pencemar yakni S₄ (LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L) sebesar 92%. Perbedaan rata-rata pada berat basah tanaman dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan zat hara pada tiap-tiap perlakuan (Ardiansyah, 2017). Berbeda halnya dengan berat kering tanaman, perbedaan rata-rata pada berat kering dapat disebabkan oleh proses fotosintesis pada masing-masing tanaman (Nurdin, 2011).

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa

1. Tanaman daun tombak (*Sagittaria lancifolia*) terbukti efektif dalam mengabsorpsi zat pencemar *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu). Hal ini dibuktikan dengan nilai daya penyisihan LAS mengalami penurunan sebesar 96% pada variasi konsentrasi S₄ (LAS 10 mg/L + Cu 3 mg/L) dan logam Cu mengalami penurunan sebesar 72% pada variasi konsentrasi S₆ (LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L). Sedangkan nilai efektivitas penyerapan logam Cu paling optimal terdapat pada variasi konsentrasi S₆ (LAS 50 mg/L + Cu 3 mg/L) dengan nilai sebesar 59%.
2. Adanya paparan zat pencemar *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu) pada tiap-tiap variasi konsentrasi tidak memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan dan kondisi morfologi tanaman *Sagittaria lancifolia*, sehingga tanaman ini layak dijadikan sebagai salah satu upaya dalam pemulihan lingkungan perairan yang tercemar LAS dan logam Cu.

5.2 Saran

1. Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut dengan menambah waktu detensi serta berbagai variasi konsentrasi sehingga dapat meningkatkan efektivitas tanaman *Sagittaria lancifolia* dalam mengabsorpsi zat

pencemar LAS dan logam Cu

2. Perlu dilakukan penelitian dengan mengkomparasikan berbagai zat pencemar dengan *Linear Alkylbenzene Sulfonates* (LAS) dan logam berat tembaga (Cu) terhadap tanaman *Sagittaria lancifolia*
3. Perlu dilakukan percobaan dengan mengkombinasikan tanaman *Sagittaria lancifolia* dengan jenis tanaman fitoremediator lainnya.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z., Fariha, A., Shafaqat, A., Ihsan, E. Z., Muhammad, R., & Muhammad, A. R. (2019). Phytoremediation of Landfill Leachate Waste Contaminants Through Floating Bed Technique using Water Hyacinth and Water Lettuce. *International Journal of Phytoremediation*, 1–12.
- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press: Banjarmasin.
- Adistiara, V. Y., Elisa, K., & Rony, I. (2019). Phytoremediation of Domestic Wastewater (Detergent) with Arrowhead and Burhead Plants in Purwodadi Botanic Garden. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 259(1), 1–6.
- Afifudin, A. F. M. (2022). Kemampuan dan Respon Pertumbuhan Tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*) dalam Mengabsorpsi Logam Berat Tembaga (Cu). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Afifudin, A. F. M., & Rony, I. (2021). Estimating The Ability of Lanceleaf Arrowhead (*Sagittaria lancifolia*) in Phytoremediation of Heavy Metal Copper (Cu). *Berkala Sainstek*, 9(3), 125–130.
- Afiyah, N., Latifatus, S., Putri, H., & Iseu, L. (2020). Identifikasi Biodiversitas Tumbuhan Pada Lingkungan Akuatik di Sungai Kabupaten Jepara. *Journal Of Biology Education*, 1(1), 32–43.
- Ahriani. (2021). Analisis Nilai Absorbansi Pada Penentuan Kadar Flavonoid Daun Jarak Merah (*Jatropha Gossypifolia* L.). *Skripsi*. Fakultas Sains dan

- Teknologi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Ainuddin., & Widyawati. (2017). Studi Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) di Perairan Sungai Tabobo Kecamatan Malifut Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Ecosystem*, 17(1), 653–659.
- Alfauziah, T. Q. (2018). Mengenal Kosmetik Pembersih Wajah Micellar Water dan Perkembangannya. *Majalah Farmasetika*, 3(5), 94–97.
- Ali, H., Ezzat, K., & Muhammad, A. S. (2013). Phytoremediation of Heavy Metals- Concepts and Applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
- Alkhair, A. (2013). Pencemaran Air. *Jurnal Pencemaran Air*, 2, 1–7.
- Alpian. (2020). Fitoakumulasi Ion Logam Tembaga (Cu^{2+}) dan Kobal (Co^{2+}) Oleh Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus Tricolor* L.) Pada Tanah Tercemar. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin.
- Andiarna, F., Eva, A., Moch, I. H., Fajar, R. R., & Irul, H. (2022). Kemampuan Tumbuhan Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dalam Mengadsorpsi LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*) dalam Zat Pencemar yang Mengandung Logam Berat. *Jurnal Kimia*, 16(2), 244–249.
- Anggraeni, W. E. (2018). Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica* Forsk.) Ditinjau Dari Jumlah dan Waktu Tinggal (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry). *Skripsi*. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Anisa, F. (2020). Analisis Laju dan Daya Serap Tanaman Bambu Air (*Equisetum Hyemale* L.) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) dengan Instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi.

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.

Ardiansyah. (2017). Aplikasi Kombinasi Limbah Cair Industri Tempe dan Urea pada Pertumbuhan dan Hasil Selada (*Lactuca sativa*). *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Asmorowati, D. S., Sri, S. S., & Ida, I. K. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 169–173.

Ayub, S. O. (2015). Kesesuaian dan Kinerja Tanaman Kehutanan Sebagai Fitoremediator Logam Pada Lahan Bekas Tambang Batubara. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana. Universitas Diponegoro.

Baroroh, F., Eko, H., & Rony, I. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 689–700.

Basri, S., & Erlina, H. (2015). Studi Eksperimen : Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air. *Higiene*, 1(1), 49–59.

Bayçu, G. (2016). *View Project Phytoremediation of Heavy Metal Nanoparticles by Plantain (Plantago) Plants (Istanbul University Scientific Research Projects)* (Issue 44682).

Budiawan., Yuni, F., & Neera, K. (2009). Optimasi Biodegradabilitas dan Uji Toksisitas Hasil Degradasi Surfaktan *Linear Alkilbenzena Sulfonat* (LAS) Sebagai Bahan Deterjen Pembersih. *Makara Sains*, 13(2), 125–133.

- Caroline, J., & Guido, A. M. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 733–744.
- Coelho, K. D. S., & Odete, R. (2010). Assessment of the Potential Toxicity of a *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) to Freshwater Animal Life by Means of Cladoceran Bioassays. *Ecotoxicology*, 19, 812–818.
- Dewi, E. I., Lusky, A., & Rony, I. (2018). Phenology Study of Aquatic Plants (*Sagittaria lancifolia* and *Echinodorus radicans*) in Purwodadi Botanic Garden. *Prosiding Seminar Nasional VI Hayati*, 6, 144–154.
- Djo, Y. H. W., Dwi, A. S., Iryanti, E. S., & Wahyu, D. S. (2017). Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 5(2), 137–144.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan*. PT Kanisius: Yogyakarta.
- Elawati., Novri, Y. K., & Djuna, L. (2015). Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dengan Waktu Kontak yang Berbeda. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 6(2), 162–166.
- Fatikasari, R. N., & Tarzan, P. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *LenteraBio*, 11(2), 263–272.

- Fernandes, J. C., & Henriques, F. S. (1991). Biochemical, Physiological and Structural Effects of Excess Copper in Plants. *The Botanical Review*, 57(3), 246–273.
- Fitria, S. N., Unggul, P. J., & Gancang, S. (2014). Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) untuk Mengurangi Kadar Logam Berat (Pb dan Cu) serta Radionuklida dengan Metode Fitoremediasi. *Brawijaya Physics Student Journal*, 2(1).
- Fitriana, N., & Sunu, K. (2020). Kemampuan *Lemna minor* dalam Menurunkan Kadar *Linear Alkyl Benzene Sulphonate*. *LenteraBio*, 9(2), 109–114.
- Fitrihidajati, H., Elisa, K., & Rachmadiarti, F. (2020). The Ability of *Sagittaria lancifolia* as Phytoremediator on Detergent Solution. *International Conference on Science and Technology 2019 Journal of Physics: Conference Series*, 1–10.
- Fitriyah, A. W. (2013). Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Malang.
- Haberl, R. (1999). Constructed Wetlands: A Change to Solve Wastewater Problems in Developing Countries. *Water Science and Technology*, 40(3), 11–17.
- Hall, J. L. (2002). Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 1–11.
- Hamuna, B., Rosye, H. R. T., Suwito, Hendra, K. M., & Alianto. (2018). Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Perairan Distrik Depapre , Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1), 35–43.

- Hamzah, A., & Rosyda, P. (2019). *Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat*. UNITRI Press: Malang.
- Handayani, L. (2020). Pengaruh Kandungan Deterjen Pada Limbah Rumah Tangga Terhadap Kelangsungan Hidup Udang Galah (*Macrobracium Rosenbergii*). *Sebatik*, 24(1), 75–80.
- Harahap, M. R., Lola, D. A., & Asrul, H. M. (2020). Analisis Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada Limbah Cair dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Amina*, 2(2), 79–83.
- Hardiani, H. (2008). Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. *Jurnal Riset Industri*, 2(2), 64–75.
- Hardyanti, N., & Suparni, S. R. (2007). Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry). *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 2(1), 28–33.
- Harmayani, K. D., & Konsukartha, I. G. M. (2007). Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh. *Jurnal Permukiman Natak*, 5(2), 62–108.
- Haruna, E. T., Ishak, I., & Nita, S. (2012). Fitoremediasi pada Media Tanah yang Mengandung Cu dengan Tanaman Kangung Darat. *Jurnal Sainstek*, 6(6).
- Hasanah, U. (2020). Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) Oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dari Sawah di Daerah Malang Berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim: Malang.

- Hasibuan, R. (2016). Analisis Dampak Limbah/Sampah Rumah Tangga terhadap Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Advokasi*, 4(1), 42–52.
- Hastuti, I. W. (2017). Karakterisasi Butiran Sub Mikron Nanomaterial Karbon Batok Kelapa dengan Variasi Waktu Pengadukan Bahan yang Digunakan Untuk Filtrasi Logam Fe Dari Limbah Air Selokan Mataram Berdasarkan Uji Uv-Vis, XRD, SEM dan AAS. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hendra., Eri, B., Abdul, R., & Hary, S. (2015). Photo-Degradation of Surfactant Compounds using UV Rays with Addition of TiO₂ Catalysts in Laundry Waste. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 66.
- HERA (*Human and Environmental Risk Assessment*). (2013). *Linear Alkylbenzene Sulphonate [Online]*. www.heraproject.com
- Herlambang, A. (2006). Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 2(1), 16–29.
- Hidayah, W. N., Mochammad, I., & Rony, I. (2020). Re-Inventarisasi Keanekaragaman Tanaman Air dan Persebarannya di Kebun Raya Purwodadi-LIPI. *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Sainstek) Ke-V*, 209–218.
- Hidayati, N. (2020). *Tanaman Akumulator Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Untuk Fitoremediasi*. LIPI Press: Jakarta.
- Ikawati, S., Andi, Z., & Diana, A. (2017). Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi pada Deterjen dengan Menggunakan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*). *Jurnal Umrah*, 1–7.
- Imron., Dermiyati., Nanik, S., Slamet, B. Y., & Erdi, S. (2019). Perbaikan Kualitas

- Air Limbah Domestik Dengan Fitoremediasi Menggunakan Kombinasi Beberapa Gulma Air: Studi Kasus Kolam Retensi Talang Aman Kota Palembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 51–60.
- Imtiyaz, J. D., & Fida, R. (2020). Kemampuan Tapak Dara Air (*Ludwigia adscendens*) sebagai Agen Fitoremediasi LAS Detergen. *LenteraBio*, 9(1), 51–57.
- Irawanto, R. (2010). Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali. *Local Wisdom : Jurnal Ilmiah Kajian Kearifan Lokal*, 2(4), 29–35.
- Irawanto, R. (2016). Revitalisasi Koleksi Tumbuhan Akuatik Kebun Raya Purwodadi Sebagai Taman Kolam Fitoremediasi. *Prosiding TEMU ILMIAH IPLBI*, 95–100.
- ITIS (*Integrated Taxonomic Information System*). (2015). *Taxonomic Hierarchy: Sagittaria lancifolia L.* <https://www.itis.gov>.
- Karoba, F., Suryani, & Reni, N. (2015). Pengaruh Perbedaan pH terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae*) Sistem Hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*). *Jurnal Ilmiah Respati Pertanian*, 7(2), 529–534.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. (2019). Rancangan Teknokratik Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024. *Kementerian PPN/Bappenas*.
- Kilkoda, A. K., Nurmala, T., & Widayat, D. (2015). Pengaruh Keberadaan Gulma (*Ageratum conyzoides* dan *Boreria alata*) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tiga Ukuran Varietas Kedelai (*Glycine max L . Merr*) pada Percobaan Pot Bertingkat. *Jurnal Kultivasi*, 14(2), 1–9.

- Kopriva, S., & Koprivova, A. (2003). Sulphate Assimilation: A Pathway Which Likes to Surprise. *Sulphur in Higher Plants. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher*, 87–112.
- Krisnawati., Tri, Y. W., Amalia, N., & Agus, M. S. (2015). Perancangan Moolief Bioreactor Untuk Remediasi Air Sungai Brantas Kediri Tercemar Limbah Domestik dan Industri. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015*, 496–503.
- Kurniawan, A., Suslam, P., & Untung, S. (2017). Biodegradasi Surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) oleh *Pseudomonas* sp. dari Ekosistem Irigasi Sekunder Tercemar Deterjen di Kota Batu. *Agrika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 11(1), 52–65.
- Kustiyaningsih, E., & Rony, I. (2020). Pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) dalam Fitoremediasi Detergen dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148.
- Larasati, N. N., Sri, Y. W., Lilik, M., Muhammad, Z., & Kunarso. (2021). Kandungan Pencemar Detejen Dan Kualitas Air Di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 1–13.
- Li, H., Da-Qiao, W., Mi, S., & Zuo-Ping, Z. (2012). Endophytes and Their Role in Phytoremediation. *Fungal Diversity*, 54(1), 11–18.
- Lussy, N. D., Chatlimbi, T. B. P., & Chris, N. N. (2022). Pertumbuhan dan Hasil Bayam yang Diberi POC Limbah Cair Tahu dan Daun Gamal dengan Lama Fermentasi Berbeda. *Partner*, 27(1), 1710–1722.
- Ma, Y., Prasad, M. N. V, Rajkumar, M., & Freitas, H. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Endophytes Accelerate Phytoremediation of

- Metalliferous Soils. *Biotechnology Advances*, 29, 248–258.
- Manuhutu, O. (2009). Penetapan Kadar Lidokain HCl Dalam Sediaan Injeksi Secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung. *Skripsi*. Fakultas Farmasi. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Maria, S. (2009). Penentuan Kadar Logam Besi (Fe) dalam Tepung Gandum dengan Cara Destruksi Basah dan Kering Dengan Spektrofotometri Serapan Atom Sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-3751-2006. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2014). *PERMENLH RI Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*.
- Morrow, D., & Marvin, D. P. (1993). *LAS: Aquatic Toxicity and Biodegradation*. Illinois Department of Energy and Natural Resources.
- Mubarok, F. (2017). Analisa Konsentrasi Polifenol dalam Produk Teh Lipton Menggunakan Metode Analisis Spektrofotometri Visibel. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Diponegoro.
- Munadia, R. (2020). Komparasi Variasi Jumlah Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dalam Menurunkan *Total Dissolve Solid* Limbah Cair Industri Menggunakan Sistem Resirkulasi. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Noriyanti, T. (2012). Analisis Kalsium, Kadmium dan Timbal Pada Susu Sapi Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan

Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

- Novita., Yuliani, & Tarzan, P. (2012). Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea Canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas. *LenteraBio*, 1(1), 1–8.
- Nurdin. (2011). Antisipasi Perubahan Iklim untuk Keberlanjutan Ketahanan Pangan. *Jurnal Dialog Kebijakan Publik*, 4(1), 21–49.
- Nurdin, M., Wibowo, W., Supriyono, Febrian, M. B., Surahman, H., Krisnandi, Y. K., & Gunlazuardi, J. (2009). Pengembangan Metode Baru Penentuan *Chemical Oxygen Demand* (COD) Berbasis Sel Fotoelektrokimia: Karakterisasi Elektroda Kerja Lapis Tipis TiO₂/ITO. *Makara*, 13(1), 1–8.
- Nurjanah, S., Badrus, Z., & Abdul, S. (2017). Penyisihan BOD dan COD Limbah Cair Industri Karet dengan Sistem Biofilter Aerob dan Plasma *Dielectric Barrier Discharge* (DBD). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–14.
- Oladipo, A. A., Olatunji, J. A., Adewale, S. O., & Abimbola, O. A. (2017). Bio-Derived MgO Nanopowders for BOD and COD Reduction from Tannery Wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 16, 142–148.
- Oliveira, H. (2012). Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*, 1–8.
- Otzen, D. (2011). Protein – Surfactant Interactions: A Tale of Many States. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1814(5), 562–591.
- Pambudi, M. A. R., & Suprpto. (2018). Penentuan Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Mineral. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 20–23.
- Peraturan Pemerintah. (2001). *PP Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan*

Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

- Pilon-smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annu Rev Plant Biol*, 56, 15–39.
- Pranoto. (2013). Fitoteknologi dan Ekotoksikologi Dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1), 66–73.
- Pratama, E. (2017). Fitoremediasi Limbah Budidaya Pendederan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*) Menggunakan *Spirulina* sp. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Pratiwi, S. H., Retno, T. P., & Kunadi, T. (2021). Pengaruh Lama Pembenaman *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Agritech*, 23(2), 129–136.
- Pratiwi, W. M., & Mahanani, T. A. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Indigenous Pendegradasi Pestisida Profenofos dan Klorantraniliprol di Jombang Jawa Timur. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 300–309.
- Purnamasari, E. N. (2014). Karakteristik Kandungan *Linear Alkyl Benzene Sulfonat* (LAS) pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Media Teknik*, 11(1), 32–36.
- Puspitasari., Arnelli., & Ahmad, S. (2013). Formulasi Larutan Pencuci dari Surfaktan Hasil Sublasi Limbah Laundry. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(1), 11–16.
- Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah. *Teknik*, 32(1), 62–71.
- Rahadian, R., Endro, S., & Sri, S. (2017). Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1–8.
- Rahayu, F. R. (2020). Efektifitas Tumbuhan Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dalam

- Mengabsorpsi Zat Pencemar LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*) dengan Adanya Logam Berat (Pb dan Cd). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Rahman, A. A., & Galih, S. L. (2013). Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Menjadi Detergen Alami Melalui Kombinasi Reaksi Trans-esterifikasi Trans esterifikasi dan Sulfonasi. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 84–90.
- Retno, S. P. (2009). Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung *Linear Alkil Benzen Sulfonat* (LAS) dan Amonia Dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran. *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Retnosari, A. A., & Maya, S. (2013). Kemampuan Isolat *Bacillus* Sp. dalam Mendegradasi Limbah Tangki Septik. *Jurnal Sains Dan Seni POMItS*, 2(1), 7–11.
- Rizkiaditama, D., Elly, P., & Muizzudin. (2017). Analisis Kadar Klorofil pada Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) di Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP) Ngoro Mojokerto Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Prosiding Seminar Nasional III*, 287–293.
- Ruelland, E., & Alain, Z. (2010). How Plants Sense Temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 69(3), 225–232.
- Rukmi, A. K. (2019). Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Tiram Bakau (*Crassostrea cucullata*) dan Air di Pesisir Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya.
- Rukmi, D. P., Ellyke, & Rahayu, S. P. (2013). Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam Menurunkan Kadar Deterjen, BOD, dan COD

pada Air Limbah Laundry (Studi di Laundry X di Kelurahan Jember Lor Kecamatan Patrang Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2013*.

Rukminasari, N., Nadiarti., & Khaerul, A. (2014). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan Halimeda Sp. *Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, 24(1), 28–34.

Russel, R. S. (1977). *Plant Root Systems: Their Function and Interaction With the Soil*.

Sablayrolles, C., Mireille, M.-V., Jérôme, S., & Michel, T. (2009). Trace Determination of *Linear Alkylbenzene Sulfonates*: Application in Artificially Polluted Soil-Carrots System. *International Journal of Analytical Chemistry*, 1–6.

Saez, M., Leon, V. M., Gomez-Parra, A., & Gonzales-Mazzo, E. (2000). Extraction and Isolation of *Linear Alkylbenzene Sulfonates* and their Intermediate Metabolites from Various Marine Organisms. *J Chromatogr A*, 889(1–2), 99–104.

Sagala, R. U. (2019). Analisis Kualitas Air Sungai Gajah Wong Ditinjau dari Konsentrasi Klorofil-a dan Indeks Pencemaran. *Skripsi*. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Sanata Dharma.

Saier, M. H., & Trevors, J. T. (2010). Phytoremediation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 205, 61–63.

Santosa, D., Nurma, S., Irma, P. D., & Luthfiana, N. A. (2013). Kultur Tunas *Scoparia dulcis*, *Lindernia anagalis*, *Lindernia ciliata* dan Upaya Bioremediasi Terhadap Logam Berat Pb, Cr, Cd. *Traditional Medicine*

Journal, 18, 29–34.

Sari, S. R. (2015). Kajian Adsorpsi *Linear Alkilbenzena Sulfonat* (LAS) Menggunakan Magnetit. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang.

Sekarwati, N. (2016). Dampak Logam Berat Tembaga dan Perak pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur di Kotagede Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(1), 477–488.

Sekarwati, N., Bardi, M., & Sunarto. (2015). Dampak Logam Berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur dan Kesehatan Masyarakat serta Upaya Pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta. *Jurnal Ekosains*, 7(1), 64–76.

Serang, L. K. O., Eko, H., & Ridesti, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium dengan Menggunakan *Sagittaria lancifolia* dan *Pistia stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 739–746.

Setiari, N. M., Mahendra, M. S., & Suyasa, I. W. B. (2012). Identifikasi Sumber Pencemar dan Analisis Kualitas Air Tukad Yeh Sungai di Kabupaten Tabanan dengan Metode Indeks Pencemaran. *Ecotrophic*, 7(1), 40–46.

Setiawan, H. (2013). Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1), 12–24.

Setiawan, I. P. P. (2015). Sintesis 4-Bromonitrobenzena Melalui Reaksi Substitusi Elektrofilik. *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2015*.

Sibarani, R. (2015). Penurunan Konsentrasi *Linier Alkilbenzen Sulfonat* (LAS)

- Dalam Air Limbah Laundry Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Walingi (*Scirpus grossus*). *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Simanjuntak, M. (2009). Hubungan Faktor Lingkungan Kimia, Fisika Terhadap Distribusi Plankton di Perairan Belitung Timur, Bangka Belitung. *Jurnal Perikanan*, 11(1), 31–45.
- Siotto, M., & Rosanna, S. (2018). Copper Imbalance in Alzheimer's Disease: Overview of the Exchangeable Copper Component in Plasma and the Intriguing Role Albumin Plays. *Coordination Chemistry Reviews*, 371, 86–95.
- Siswandari, A. M., Iin, H., & Sukarsono. (2016). Fitoremediasi Fosfat Limbah Cair Laundry Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Bambu Air (*Equisetum hyemale*) Sebagai Sumber Belajar Biologi. *J. Pendidikan Biologi Indonesia*, 2(3), 222–230.
- Soheti, P., La, O. S., & Dany, P. M. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), 139–150.
- Solichin, A. (2011). Identifikasi Laju Reaksi Penyisihan *Linear Alkylbenzene Sulfonat*, Amonia, Besi, dan Mangan Melalui Proses Hibrida Ozonasi dan Teknologi Membran. *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Sood, A., Perm, L. U., Radha, P., & Amrik, S. A. (2012). Phytoremediation Potential of Aquatic Macrophyte, Azolla. *Ambio*, 41(2), 122–137.
- Standar Nasional Indonesia (2002). *Metode Pengujian Kadar Air, Kadar Abu, dan Bahan Organik dari Tanah Gambut dan Tanah Organik Lainnya (SNI 13-6793-2002)*.

- Standar Nasional Indonesia (2005). *Cara Uji Kadar Surfaktan Anionik Dengan Spektrofotometer Secara Biru Metilen (SNI 06-6989.51-2005)*.
- Standar Nasional Indonesia (2009). *Cara Uji Tembaga (Cu) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala (SNI 6989.6:2009)*.
- Suastuti, N. G. A. M. D. A., Suarsa, I. W., & Dwi, K. P. R. (2015). Pengolahan Larutan Deterjen Dengan Biofilter Tanaman Kangkung (Ipomoea Crassicaulis) Dalam Sistem Batch (Curah) Teraerasi. *Jurnal Kimia*, 9(1), 98–104.
- Sufni, A. Z. (2020). Proses Penciptaan Alam Semesta dalam Al Qur ' an. *Ulumul Qur'an: Jurnal Ilmu Al-Qur'an Dan Tafsir*, 2(2), 20–32.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrofotometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Aura: Cv. Anugrah Utama Raharja.
- Sukono, G. A. B., Farhan, R. H., Evitasari, & Dodi, S. (2020). Mekanisme Fitoremediasi : Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 2(2), 40–46.
- Supriyantini, E., Ria, A. T. N., & Anindya, P. F. (2017). Studi Kandungan Bahan Organik Pada Beberapa Muara Sungai di Kawasan Ekosistem Mangrove, di Wilayah Pesisir Pantai Utara Kota Semarang, Jawa Tengah. *BULOMA: Buletin Oseanografi Marina*, 6(1), 29–38.
- Suryadi, Isna, A., & Ulli, K. (2017). Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1).
- Syranidou, E., Stavros, C., & Nicolas, K. (2017). *Juncus* spp.—The Helophyte for

- All (Phyto)remediation Purposes? *New Biotechnology*, 38(16), 43–55.
- Tangahu, B. V., Siti, R. S. A., Hassan, B., Mushrifah, I., Nurina, A., & Muhammad, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 1–31.
- Taufik, I. (2006). Pencemaran Deterjen dalam Perairan dan Dampaknya Terhadap Organisme Air. *Media Akuakultur*, 1(1), 25–32.
- Taufikurrahman. (2016). Penentuan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) dalam Tanaman Rimpang Menggunakan Metode Destruksi Basah Secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Usman. (2021). *Modul Kimia Organik Lanjut*. FKIP-UNMUL.
- Vamerali, T., Marianna, B., & Giuliano, M. (2010). Field Crops for Phytoremediation of Metal-Contaminated Land. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 1–17.
- Wade, I. G. J. (2013). *Organic Chemistry* (8th ed.). Pearson Education, Inc.
- Wang, L., Bin, J., Yuehua, H., Runqing, L., & Wei, S. (2017). A Review on In Situ Phytoremediation of Mine Tailings. *Chemosphere*, 184, 594–600.
- Warono, D., & Syamsudin. (2013). Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. *Konversi*, 2(2), 57–65.
- Widowati, H., Agus, S., & Widya, S. S. (2018). *Fitoteknologi dan Efek Fitoremediasi*. LPPM UMM Metro Press.
- Widya, C., Badrus, Z., & Syafrudin. (2015). Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD

- dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 1–8.
- Widyawati, M. E., & Sunu, K. (2021). Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 77–85.
- Wirawan, S. M. S. (2019). Kajian Kualitatif Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(2), 57–68.
- Wulandari, T., Rini, B., & Endah, D. H. (2018). Kemampuan Akumulasi Timbal (Pb) Pada Akar Mangrove Jenis *Avicennia marina* (Forsk.) dan *Rhizophora mucronata* (Lamk.) di Lahan Tambak Mangunharjo Semarang. *Jurnal Biologi*, 7(1), 89–96.
- Yalcin, M. G., Ibrahim, N., & Mustafa, S. (2008). Multivariate Analysis of Heavy Metal Contents of Sediments from Gumusler Creek, Nigde, Turkey. *Environ Geol*, 54, 1155–1163.
- Yong, Z., Liao, B.-H., Zeng, Q.-R., Zeng, M., & Lei, M. (2008). Surfactant *Linear Alkylbenzene Sulfonate* Effect on Soil Cd Fractions and Cd Distribution in Soybean Plants in a Pot Experiment. *Pedosphere*, 18(2), 242–247.
- Yuliani, R. L., Elly, P., & Yuni, P. (2015). Effect of Waste Laundry Detergent Industry Against Mortality and Physiology Index of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS*, 822–828.
- Zamora, R., Harmadi, & Wildian. (2016). Perancangan Alat Ukur TDS (*Total Dissolved Solid*) Air dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 11.