

**STUDI KEANEKARAGAMAN GULMA RIPARIAN
YANG BERPOTENSI SEBAGAI FITOREMEDIATOR
DI SUNGAI KALIGARANG KOTA SEMARANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains dalam Ilmu Biologi



OLEH:

KONIATUSSA'DIYAH

NIM: 2108016037

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Koniatussa'diyah

NIM : 2108016037

Jurusan : Biologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

“Studi Keanekaragaman Gulma Riparian yang Berpotensi Sebagai Fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang”

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 20 Mei 2025





KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Prof. Dr. Hamka Kampus III Ngaliyan Semarang 50185
Telp.024 76433366 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Studi Keanekaragaman Gulma Riparian yang Berpotensi Sebagai Fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang

Nama : Koniatussa'diyah

NIM : 2108016037

Jurusan : Biologi

Semarang, 30 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang/Penguji,

Eko Purnomo, M. Si.

NIP. 198604232019031006

Sekretaris Sidang/Penguji,

Dian Triastari Armanda, M.Si.

NIP. 19831221 201101 2 004

Penguji Utama I,

Niken Kusumarni, M.Si.

NIP. 198902232019032015

Penguji Utama II,

Kusrinah, M.Si

NIP. 197711102011012005

Pembimbing I

Eko Purnomo, M. Si.

NIP. 198604232019031006

Pembimbing II

Dian Triastari Armanda, M.Si.

NIP. 19831221 201101 2 004

NOTA DINAS

Semarang, 18 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Studi Keanekaragaman Gulma Riparian yang Berpotensi Sebagai Fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang

Nama : Koniatussa'diyah

NIM : 2108016037

Jurusan : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam sidang munaqosyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Pembimbing 1
Eko Purwono, M. Si
NIP.198604232019031006

NOTA DINAS

Semarang, 19 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Studi Keanekaragaman Gulma Riparian yang Berpotensi Sebagai Fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang

Nama : Koniatussa'diyah

NIM : 2108016037

Jurusan : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam sidang munaqosyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Pembimbing 2
26/05

Dian Triastari Armando
NIP.198312212011012004

MOTTO

وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجٌ^٣

Ilmu adalah cahaya, dan Allah meninggikan derajat orang-orang berilmu

(Q.S Al-Mujadila:11)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Penulis ingin mengungkapkan puji syukur kepada Allah SWT, Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan berkah-Nya. Salawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan kita, Baginda Nabi Akhir Zaman, Penuntun Umat, Nabi Muhammad SAW, beserta dengan keluarga, sahabat, dan pengikut setianya hingga akhir zaman. Alhamdulillahirobbil'alamin atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul "Studi Keanekaragaman Gulma Riparian yang Berpotensi Sebagai Fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang".

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan bantuan yang sangat berarti dan tak ternilai bagi penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Maka pada kesempatan ini dengan kerendahan hati dan rasa hormat yang dalam penulis haturkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nizar, M. Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Dian Ayuning Tyas, M. Biotech. selaku Ketua Program Studi Biologi.

4. Bapak Eko Purnomo, M. Si selaku Dosen Pembimbing skripsi 1 yang telah dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi.
5. Ibu Dian Triastari Armanda, M. Si. selaku Dosen Pembimbing 2 yang juga turut memberikan dorongan, koreksi, dan saran-saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan skripsi.
6. Ibu Niken Kusumarini, M.Si. selaku Dosen Penguji 1 dan dosen wali yang telah memberikan saran dan arahan serta dukungan selama masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
7. Ibu Kusrinah, M.Si. selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran, masukan yang berharga dalam penyempurnaan penulisan tugas akhir ini.
8. Kedua orang tua saya tercinta Bapak Kasiyanto dan Ibu Sri wahyuni yang senantian memberikan dukungan baik moral maupun materi serta semangat dan doa yang tiada henti selama menyelesaikan perkuliahan dan penulisan skripsi.
9. Athiyatun, Agista Ulan Sari, Anjelia Nurmey Laila yang telah menemani selama proses penelitian.
10. Teman-teman Biologi Kelas B 2021 yang selalu menjadi keluarga, menjadi tempat bertukar pikiran, dan berbagi semangat selama proses perkuliahan.
11. Teman-teman Biologi angkatan 2021 dan Tim KKN MMK Posko 6 Desa Kledung.
12. Orang terkasih dan teman-teman tercinta, Pupus, Ulfa, Ghefira, Aisyah, yang selalu memberikan dukungan selama perkuliahan.

13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dorongan serta bimbingan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap segala kritik dan saran yang membangun demi memperbaiki kesalahan dan kekurangan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat luas. Amin.

Semarang 18 Mei 2025

Penulis

Koniatussa'diyah

Nim. 2108016037

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	2
NOTA DINAS	4
NOTA DINAS	5
MOTTO	6
KATA PENGANTAR	7
DAFTAR ISI	10
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR GAMBAR	13
ABSTRAK	15
ABSTRACT	16
BAB I	17
PENDAHULUAN	17
A. Latar Belakang	17
B. Rumusan Masalah	21
C. Tujuan Penelitian	22
D. Manfaat Penelitian	22
BAB II	24
TINJAUAN PUSTAKA	24
A. Landasan Pustaka	24
1. Keanekaragaman Hayati	24
2. Gulma Riparian dan Potensi Fitoremediasi	25
3. Sungai Kaligarang, Kota Semarang	32

5. Pencemaran Air.....	38
B. Kajian Pustaka yang Relevan	56
C. Karangka Berpikir.....	64
BAB III.....	65
METODE PENELITIAN	65
A. Jenis Penelitian	65
B. Waktu dan Tempat Penelitian	65
C. Alat dan Bahan	66
D. Sumber Data	67
E. Teknik Pengumpulan Data	67
F. Teknik Analisis Data	69
BAB IV	73
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	73
A. Spesies Gulma Riparian di DAS Kaligarang	73
B. Tingkat Keanekaragaman Gulma Riparian di Sungai Kaligarang, Kota Semarang	127
C. Potensi Gulma Riparian Sebagai Fitoremediator	141
BAB IV	150
PENUTUP	150
A. KESIMPULAN	150
B. SARAN	151
DAFTAR PUSTAKA.....	153
LAMPIRAN.....	179
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	184

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator	
Tabel 2.2 Standar Baku mutu Sungai.....	38
Tabel 2.3 Kajian Pustaka yang Relevan	52
Tabel 4.1 Daftar Spesies Gulma riparian di Stasiun Pengamatan	
.....	70
Tabel 4.2 Nilai Kerapatan, Frekuensi dan Nilai Penting di Stasiun Pengamatan.....	123
Tabel 4.3 Indeks Keanekaragaman Gulma Riparian Sungai Kaligarang	131
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Parameter lingkungan.....	133
Tabel 4.5 Potensi Gulma air Sebagai Fitoremediasi	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Das Kaligarang	14
Gambar 2.2 Mekanisme Fitoremediasi dan Fungsinya	22
Gambar 2.3 Proses Fitoekstraksi	23
Gambar 2.4 Proses Fitostabilisasi	24
Gambar 2.5 Proses Fitovolatilisasi	25
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	36
Gambar 4.1 <i>Ipomoea triloba</i>	75
Gambar 4.2 <i>Bidens pilosa</i>	77
Gambar 4.3 <i>Kyllinga brevifolia</i>	79
Gambar 4.4 <i>Cyperus alternifolius</i>	81
Gambar 4.5 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	82
Gambar 4.6 <i>Monochoria vaginalis</i>	84
Gambar 4.7 <i>Ludwigia perennis</i>	86
Gambar 4.8 <i>Ipomoea aquatica</i>	87
Gambar 4.9 <i>Fimbristylis miliacea</i>	89
Gambar 4.10 <i>Commelina diffusa</i>	90
Gambar 4.11 <i>Cyperus rotundus</i>	92

Gambar 4.12 <i>Eichhornia crassipes</i>	93
Gambar 4.13 <i>Cyperus imbricatus</i>	95
Gambar 4.14 <i>Brachiaria mutica</i>	97
Gambar 4.15 <i>Alternanthera sessilis</i>	98
Gambar 4.16 <i>Portulaca oleracea</i>	100
Gambar 4.17 <i>Cyperus iria</i>	102
Gambar 4.18 <i>Cyperus pumilus</i>	104
Gambar 4.19 <i>Leptochloa chinensis</i>	105
Gambar 4.20 <i>Eleusine indica</i>	107
Gambar 4.21 <i>Lindernia antipoda</i>	109
Gambar 4.22 <i>Imperata cylindrica</i>	111
Gambar 4.23 <i>Ludwigia hyssopifolia</i>	113
Gambar 4.24 <i>Eclipta prostrata</i>	115
Gambar 4.25 <i>Bambusa</i> sp.....	117
Gambar 4.26 <i>Echinochloa colona</i>	118
Gambar 4.27 <i>Mikania micrantha</i>	120

ABSTRAK

Pencemaran perairan sungai merupakan masalah lingkungan yang memerlukan solusi keberlanjutan, khususnya di wilayah Kota Semarang. Salah satu alternatif yang ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran yaitu fitoremediasi, penggunaan gulma riparian berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penyaring dalam pengelolaan limbah dari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis gulma riparian, untuk menghitung tingkat keanekaragaman jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang, dan Untuk menganalisis jenis gulma riparian yang memiliki kedudukan ekologis terpenting dalam ekosistem Sungai Kaligarang Kota Semarang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode purposive sampling, diikuti dengan identifikasi dan deskripsi keragaman gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator serta menghitung nilai keanekaragamannya. Hasil Penelitian menunjukkan Terdapat 27 spesies Gulma yang berpotensi sebagai fitoremediator. Tingkat keanekaragaman gulma di wilayah riparian Sungai Kaligarang tergolong sedang yaitu berkisar 1,67-2,32. Gulma yang memiliki kedudukan ekologis terpenting dalam ekosistem Sungai Kaligarang bervariasi pada setiap stasiunnya. *Echinochloa colona*, *Brachiaria mutica* menjadi gulma dengan kedudukan ekologis terpenting.

Kata kunci: Gulma riparian, Fitoremediator, Sungai, Pencemaran

ABSTRACT

River water pollution is an environmental problem that requires sustainable solutions, especially in the Semarang City area. One environmentally friendly alternative to overcome pollution is phytoremediation, the use of riparian weeds has the potential to be used as a filter material in waste management from the environment. This study aims to identify the types of riparian weeds, to calculate the level of diversity of riparian weed species that have the potential to be phytoremediator in the Kaligarang River, and to analyze the types of riparian weeds that have the most important ecological position in the Kaligarang River ecosystem in Semarang City. The method used in this study is the purposive sampling method, followed by identification and description of the diversity of riparian weeds that have the potential to be phytoremediator and calculating their diversity value. The results of the study showed that there were 27 species of weeds that had the potential to be phytoremediator. The level of weed diversity in the riparian area of the Kaligarang River is classified as moderate, ranging from 1.67 to 2.32. Weeds that have the most important ecological position in the Kaligarang River ecosystem vary at each station. *Echinochloa colona*, *Brachiaria mutica* are weeds with the most important ecological position.

Keywords: Riparian weeds, Phytoremediator, River, Pollution

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air adalah kebutuhan utama yang sangat krusial untuk semua makhluk hidup, mulai organisme tingkat rendah hingga organisme tingkat tinggi (Purnomo et al., 2023). Saat ini, banyak perairan di Indonesia menghadapi pencemaran yang diakibatkan oleh berbagai polutan, sehingga mengancam kualitas air dan kesehatan ekosistem. Hampir seluruh sungai di Indonesia telah tercemar karena tingginya penggunaan air yang tidak diimbangi dengan upaya masyarakat untuk memelihara mutu air (Farhan et al., 2023). Banyak masyarakat yang tidak menjaga kelestarian lingkungan, misalnya dengan membuang sampah, limbah, dan produk rekayasa genetik ke dalam air. Hal ini menyebabkan banyak sungai, danau, dan laut tercemar, yang berimbas negatif pada mutu perairan di Indonesia. Kualitas air diperkirakan akan mengalami penurunan seiring dengan pertumbuhan populasi manusia, terutama di perkotaan (Kustomo, 2023). Salah satu contoh nyata dari kondisi ini dapat di lihat dari perairan Kota Semarang, yaitu Sungai Kaligarang.

Sungai Garang atau yang lebih dikenal dengan Sungai Kaligarang merupakan salah satu sungai terbesar yang mengalir melintasi Kota Semarang. Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaligarang memiliki fungsi yang sangat krusial bagi Kota Semarang. Bagian hulu sungai ini berfungsi untuk menampung limpasan air dan pemasok sumber air baku bagi PDAM di Kota Semarang (Munthe dan Handayani, 2024). Sementara bagian hilirnya berfungsi sebagai tempat penampungan air drainase dari sekitar Kota Semarang. Sepanjang daerah aliran sungai banyak melewati daerah pemukiman padat penduduk, kawasan industri, area pertanian dan perikanan. Hal ini berpotensi menghasilkan polutan seperti logam berat, pestisida, nitrogen, dan limbah rumah tangga yang terbawa arus ke dalam aliran sungai, sehingga menyebabkan penurunan terhadap kualitas sungai.

Penurunan kualitas Sungai Kaligarang dapat dilihat dari hasil penelitian Pertiwi et al. (2022) yang menunjukkan bahwa nilai parameter Nitrat, BOD, dan COD di sub daerah aliran Sungai Kaligarang telah melampaui batas baku mutu, sehingga dikategorikan sebagai tercemar. Kadar Nitrat, BOD, dan COD yang tinggi di sub daerah aliran Sungai Kaligarang dipengaruhi oleh aktivitas permukiman, pertanian, perkebunan, serta industri tekstil yang terletak di sepanjang aliran sungai tersebut (Rahmawati et al., 2023). Penelitian Yulianti

Dwijananti (2016) juga menunjukkan bahwa logam berat seperti Zn dan Cr melebihi batas baku mutu di semua lokasi pengambilan sampel di Sungai Kaligarang, sementara dalam penelitian Adib Achmad et al. (2024) juga menunjukkan bahwa Sungai Kaligarang mengandung logam Fe yang melebihi standar baku mutu. Berdasarkan kondisi kualitas air sungai yang telah dijelaskan, terlihat bahwa limbah dari rumah tangga, kegiatan pertanian, peternakan, dan industri berkontribusi terhadap pencemaran air. Pencemaran sungai sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem di dalamnya (Ahmed et al., 2017).

Salah satu tumbuhan yang tumbuh dan berkembang di sepanjang tepian sungai dan berada dalam ekosistem peralihan antara lingkungan akuatik dan lingkungan terestrial dikenal dengan tumbuhan riparian. Ketika pertumbuhannya terkendali, tumbuhan ini dapat menyediakan mikrohabitat untuk organisme lain. Namun, bila tumbuhnya tidak terkendali serta mengganggu organisme lain, tanaman ini sering dianggap sebagai gulma (Astuti dan Indriatmoko, 2018). Gulma riparian adalah jenis tanaman yang mengganggu yang ada di ekosistem peralihan dari aquatik ke terestrial karena pertumbuhannya yang tidak teratur dan kemampuannya untuk menyesuaikan diri untuk hidup dalam kondisi perairan yang baik maupun buruk, dengan batas toleransi tertentu (Suhartono dan Winara,

2018). Meskipun gulma adalah tanaman yang mengganggu, namun tetap memiliki potensi manfaat.

Gulma berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan penyaring dalam pengelolaan limbah, metode ini dikenal sebagai fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan metode yang dapat digunakan untuk menurunkan tingkat pencemaran lingkungan. Saat ini, fitoremediasi juga digunakan para ilmuwan sebagai metode pengelahan air limbah yang ramah lingkungan. Mekanismenya melibatkan penyerapan polutan oleh akar, akumulasi dalam jaringan tanaman, serta penguraian dan perubahan polutan menjadi bentuk yang lebih aman (*Ansari et al., 2020*).

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi gulma dalam menyerap, menyimpan, dan menguraikan bahan pencemar. Penelitian yang dilakukan oleh Imron et al. (2019) menunjukkan bahwa metode fitoremediasi yang mengkombinasikan tiga jenis gulma air, yaitu eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kiambang (*Salvinia molesta*), dan kayu apu (*Pistia stratiotes*), terbukti efektif menurunkan kadar polutan seperti COD, BOD, amonia, TSS, dan minyak lemak pada air yang tercemar limbah domestik. Penelitian Madkar dan Kurniadie (2003) mengungkapkan bahwa jenis gulma air seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kiambang (*Salvinia molesta*), *Selvinia natans*, kayu

apu (*Pistia stratiotes*) dan Semanggi (*Marsilea crenata*) memiliki pertumbuhan cepat dan kemampuan beradaptasi pada media tercemar seperti air limbah tekstil dan limbah tahu. Penelitian ini, menyimpulkan bahwa gulma air dapat dimanfaatkan sebagai biofilter untuk penyaringan air limbah. Selain itu, beberapa jenis gulma juga terbukti efektif dalam menurunkan kadar logam berat. Selain itu, penelitian oleh Karyati et al. (2019) menyatakan bahwa pengujian terhadap efektivitas beberapa gulma air, seperti kangkung (*Ipomoea aquatica*), Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan kiambang (*Salvinia molesta*) terbukti efektif mengurangi kadar logam berat (Fe dan Mn) di air bekas galian tambang batubara.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi keanekaragaman gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang. Hal ini sangat penting mengingat kualitas Sungai Kaligarang yang semakin menurun setiap tahun, serta sebagai langkah untuk melestarikan dan mengendalikan pencemaran lingkungan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang?

2. Bagaimana tingkat keanekaragaman jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang?
3. Jenis gulma riparian apakah yang memiliki kedudukan ekologis terpenting dalam ekosistem Sungai Kaligarang Kota Semarang?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang.
2. Untuk menghitung tingkat keanekaragaman jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang.
3. Untuk menganalisis jenis gulma riparian yang memiliki kedudukan ekologis terpenting dalam ekosistem Sungai Kaligarang Kota Semarang.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara teoritis

Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi untuk mengetahui jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang.

2. Secara praktis

- a. Bagi Peneliti

Penelitian ini menyediakan data empris yang dapat digunakan oleh peneliti lain sebagai acuan dalam penelitian lebih lanjut.

b. Bagi Mahasiswa

Penelitian ini dapat menjadi sumber refrensi tambahan bagi mahasiswa guna penelitian lebih lanjut.

c. Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat memberikan informasi kepada masyarakat tentang jenis gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang sehingga masyarakat dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga dan melestarikan lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Pustaka

1. Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman atau diversitas merupakan variasi atau perbedaan antara anggota-anggota dalam sebuah kelompok (Wijaya, 2014). Dalam ekologi, diversitas merujuk pada variasi spesies yang diukur berdasarkan jumlah spesies dalam suatu komunitas serta kelimpahan relatif dari masing-masing spesies tersebut (Wijaya, 2014). Keanekaragaman hayati dibagi menjadi tiga tingkatan yaitu, spesies, genetik dan ekosistem (Mokodompit et al., 2022). Keanekaragaman spesies merupakan variasi organisme di dalam suatu ekosistem darat maupun di perairan (Santoso dan Hanjar, 2023). Keanekaragaman genetik merupakan variasi dalam gen yang dimiliki oleh setiap spesies makhluk hidup (Prakoso, 2018). Sementara keanekaragaman ekosistem berkaitan dengan berbagai jenis habitat, komunitas biologis, dan proses-proses ekologis dimana spesies terdapat di dalamnya (Santoso dan Hanjar, 2023). Tingkat keanekaragaman jenis yang tinggi dalam suatu spesies menunjukkan stabilitas komunitas tersebut. Semakin beragam komunitasnya,

semakin besar pula keanekaragaman individunya (Michael, 2015).

Keanekaragaman jenis tumbuhan menggambarkan variasi berbagai spesies tumbuhan dalam ekosistem atau wilayah geografis tertentu (Santoso, 2023). Variasi jenis tumbuhan sangat penting untuk menjaga ekosistem melalui siklus materi dan aliran energi. Selain itu, variasi ini juga penting membantu mencegah erosi tanah dan memastikan proses fotosintesis tetap berlangsung (Majid et al., 2022). Penyebaran spesies secara tidak langsung dipengaruhi oleh interaksi antara suhu, vegetasi, kelembaban udara, serta faktor fisik dan kimia tanah. Lingkungan yang terbentuk dari faktor-faktor ini menentukan keberadaan dan penyebaran spesies dengan tingkat adaptasi yang berbeda-beda (Said Nahdi et al., 2014).

2. Gulma Riparian dan Potensi Fitoremediasi
 - a. Gulma Riparian dan Karakteristiknya

Gulma merupakan istilah untuk tumbuhan yang mengganggu tanaman budidaya. Gulma menimbulkan kerugian secara bertahap selama proses pertumbuhannya dan masih berinteraksi dengan tanaman budidaya. Kerugian ini terjadi karena adanya kompetisi antara gulma dengan tanaman dalam mendapatkan nutrisi, air, cahaya, CO₂, dan ruang tumbuh (Sembodo, 2010). Setiap jenis gulma

menunjukkan pola pertumbuhan atau habitus yang beragam, seperti perakaran, tinggi, luas kanopi, jumlah cabang, serta memiliki laju pertumbuhan yang berbeda-beda. Berdasarkan habitatnya, gulma terbagi menjadi tiga jenis yaitu gulma darat, gulma air, gulma menumpang pada tumbuhan lain (Rahim, 2023).

Gulma riparian sering dianggap sebagai tanaman yang mengganggu di ekosistem perairan karena pertumbuhannya yang cepat dan sulit dikendalikan. Tumbuhan ini menghabiskan sebagian atau seluruh fase hidupnya di lingkungan perairan maupun di daratan. Gulma ini umumnya sering ditemukan di sepanjang zona riparian, seperti di tepi bendungan, danau, serta sungai dan muara. Gulma mampu beradaptasi dan bertahan di lingkungan perairan yang baik maupun tercemar, sesuai dengan batas toleransi tertentu. Berdasarkan habitatnya, gulma diklasifikasikan menjadi gulma yang terapung di permukaan (*floating*), gulma yang tenggelam di dalam air (*submerged*), dan gulma yang tumbuh di dasar serta muncul ke permukaan (*emergent*) (Nuraida dan Susanti, 2019). Karakteristik yang dimiliki gulma meliputi kemampuan berkembang biak dengan cepat, daya adaptasi yang luas, dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim (Sembodo, 2010).

b. Morfologi Gulma

Berdasarkan morfologi, gulma dapat dikelompokkan menjadi gulma berdaun lebar, gulma teki-tekian, dan gulma rumputan.

1) Gulma berdaun lebar

Anggota gulma golongan berdaun lebar paling banyak dijumpai di lapangan dan paling beragam jenisnya. Ciri-ciri yang dimiliki gulma tersebut juga sangat beragam tergantung dari familiinya. Sebagai gambaran umum, bentuk daun gulma golongan ini adalah lonjong, bulat, menjari, atau berbentuk hati. Akar yang dimiliki umumnya berupa akar tunjang. Beberapa gulma yang termasuk dalam jenis paku-pakuan atau pakis, memiliki perakaran serabut. Batang umumnya bercabang, berkayu atau sukulen. Bunga gulma golongan ini ada yang majemuk atau komposit dan ada yang tunggal (Sembodo, 2010).

2) Gulma teki-tekian

Gulma yang termasuk dalam golongan gulma teki tekian memiliki ciri utama letak daun berjejer pada pangkal batang, bentuk daun seperti pita, tangakai bunga

tidak beruas dan berbentuk silindris, segiempat atau segitiga (Sembodo, 2010).

3) Gulma rerumputan

Kelompok gulma ini ditandai dengan ciri utama yaitu tulang daun sejajar dengan tulang daun utama, berbentuk pita, dan terletak berseling pada ruas batang. Batang berbentuk silindris, beruas dan berongga. Akar gulma golongan ini tergolong dalam akr serabut (Sembodo, 2010).

c. Potensi Gulma Riparian Sebagai Fitoremediasi

Secara umum, gulma dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti mengurangi jumlah air secara signifikan melalui transpirasi, menghambat aliran irigasi, dan menjadi tempat berkembang biak bagi hama dan penyakit. Oleh karena itu, pengendalian gulma air perlu dilakukan dengan memanfaatkan salah satu potensinya, yaitu kemampuannya dalam menyaring limbah. Nuraida dan Susanti (2019) menyatakan bahwa gulma memiliki kemampuan tumbuh dan beradaptasi dengan cepat di perairan tercemar, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai biofilter dalam proses penyaringan air limbah.

Beberapa contoh dari gulma riparian yang telah diketahui memiliki potensi fitoremediasi dapat dilihat dari Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator

Tanaman	Jenis limbah	Akumulasi penyerapan limbah	Penulis
Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Limbah dari tambang kromit yang mengandung kromium heksavalen, Limbah domestik, Limbah pertanian	Eceng gondok mampu menghilangkan 99.5% Cr (VI) dari air limbah. Selain itu, tanaman ini juga mampu mengurangi total dissolved solids (TDS), biological oxygen demand (BOD), dan chemical oxygen demand (COD) dari air limbah.	(Saha et al., 2017)
Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>)	Air tercemar Cu	<i>Salvinia molesta</i> mampu menurunkan logam berat Cu sebesar 96% pada konsentrasi 2 ppm	(Baroro h et al., 2018)
Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	Limbah batik yang mengandung	tanaman ini efektif mengakumulas	(Kurnia wati et

	ng logam kromium (Cr)	i logam kromium (Cr)	al., 2018)
Duckweed (<i>Lemna minor</i>)	limbah logam berat (Pb)	Duckweed efektif menurunkan timbal (Pb) sebesar 75,5% dalam air tercemar limbah logam berat serta mampu bertahan hidup di air yang mengandung logam Pb hingga konsentrasi 20 ppm.	(Irawantoro & Munandar Aris, 2017)
Ekor kucing (<i>Typha latifolia</i>)	Limbah cair (lindi)	<i>Typha latifolia</i> dapat tumbuh di lingkungan yang terkontaminasi oleh limbah cair, termasuk yang mengandung bahan berbahaya seperti logam berat.	(Pandia et al., 2018)
Hornwort (<i>Ceratophyllum</i>)	limbah logam berat (Pb)	Mampu menurunkan timbal (Pb)	(Irawantoro & Munandar)

<i>um demersum)</i>	sebesar 81,1% dalam air limbah yang tercemar logam berat serta mampu bertahan hidup di air yang mengandung logam Pb hingga konsentrasi 5 ppm.	ar Aris, 2017)
<i>Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i>)</i>	Limbah domestik	Tanaman Lotus mampu menurunkan kadar fosfat dari 20,19 mg/L menjadi 1,97 mg/L (Novita sari et al., n.d.)
<i>Genjer (<i>Limnochari s flava</i>)</i>	Limbah yang tercemar logam berat (Pb dan Cu) dan limbah radionuklida	Tanaman genjer efektif menurunkan logam berat Pb dan Cu. Selain itu, mampu mengakumulas i radionuklida, dengan kandungan kalium-40 yang terdeteksi sebesar 1,117 nCi. (Fitria et al., 2014)

3. Sungai Kaligarang, Kota Semarang



Gambar 2.1 DAS Kaligarang
(Dokumen penelitian, 2024)

Sungai Garang atau yang lebih dikenal dengan Sungai Kaligarang, adalah salah satu sungai terbesar yang mengalir melintasi Kota Semarang. Sungai sendiri didefinisikan sebagai aliran air permukaan yang besar dan memanjang, yang terus mengalir dari hulu hingga sampai ke muara (Ardyansyah, 2021). Secara alami, eksistensi sungai akan menciptakan ekosistem yang dikenal dengan sebutan Daerah Aliran Sungai (DAS)(Dwi Rahmawati et al., 2023). Secara administratif, Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaligarang meliputi wilayah Kabupaten Semarang di bagian hulu, Kabupaten Kendal di

bagian tengah, dan Kota Semarang di bagian hilir. Sungai Kaligarang mengalirkan air dari daerah aliran sungai seluas ± 203,38 km² dengan panjang mencapai 35 km. Menurut Peraturan Daerah Kota Semarang tahun 2024, DAS Garang mencakup 29,34% dari total wilayah Kota Semarang, dan tersebar di beberapa kecamatan diantaranya yaitu, Semarang Barat, Semarang Tengah, Ngaliyan, Semarang Selatan, Gajah Mungkur, Candisari, Banyumanik, Gunungpati, Mijen, dan Semarang Utara. Sungai kaligarang bersumber dari Gunung Ungaran mengalir ke utara sampai di Pegandan di Tugu Soeharto dan bertemu dengan aliran Sungai Kripik dan Sungai Kreo.

4. Parameter Kualitas Air

Kualitas air merupakan salah satu komponen lingkungan yang sangat penting dan sebagai indikator sehatnya suatu daerah aliran sungai (Diah dan Setyowati, 2015). Kualitas air diukur melalui beberapa parameter lingkungan yaitu parameter fisika, kimia dan biologi.

a. Parameter fisika

1) Suhu

Suhu air merupakan parameter yang memiliki peran penting dalam mengatur kondisi ekosistem akuatik. Suhu mempengaruhi kandungan oksigen di dalam air, proses fotosintesis tumbuhan air, laju

metabolisme organisme air dan kepekaan organisme terhadap polusi, parasit dan penyakit (Rosarina et al., 2018). Ketika suhu air melebihi batas normal, ini dapat mengindikasikan adanya jumlah besar bahan kimia terlarut atau proses dekomposisi bahan organik yang sedang berlangsung oleh mikroorganisme berbahaya (Amani dan Prawiroredjo, 2016).

2) Kecepatan arus

Kecepatan arus di suatu perairan dipengaruhi oleh kedalaman air dan kekuatan angin yang diberikan pada lapisan permukaan air (Yusal dan Hasyim, 2022). Arus dapat memberikan dampak positif maupun negatif terhadap biota perairan. Salah satu dampaknya adalah arus dapat mengaduk substrat dasar perairan, yang menyebabkan kekeruhan dan dapat menghambat proses fotosintesis (Rino Pratama et al., 2016).

3) Total Padatan Terlarut (TDS)

Kelarutan zat padat dalam air disebut sebagai total padatan terlarut (TDS), yang mencakup terlarutnya zat padat seperti ion, senyawa, atau kolpid dalam air (Situmorang, 2017). Zat padat terlarut ini menjadi indikator adanya

ketidaknormalan pada air, yang menunjukkan bahwa air menyimpang dari kondisi aslinya (Situmorang, 2017). Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia seperti limbah industri, kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, dan sebagainya yang masuk ke dalam air.

4) Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid atau padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap (Situmorang, 2017).

b. Parameter kimia

1) Derajat keasaman pH

pH atau derajat keasaman adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan seberapa asam atau basa suatu larutan (Kustomo, 2023). pH adalah indikator yang penting dalam menentukan kualitas air yang berpengaruh terhadap berbagai proses biologis dan kimia yang terjadi di dalamnya. Skala pH, yang berkisar dari 1 hingga 14 mengukur konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Nilai pH 7 menunjukkan bahwa air bersifat netral, sementara nilai pH di bawah 7 menandakan bahwa air tersebut bersifat asam. Sebaliknya, nilai pH di atas 7

menunjukkan bahwa air tersebut bersifat basa (Yusal dan Hasyim, 2022). Keasaman air dapat berubah akibat pembuangan senyawa kimia ke dalamnya (Situmorang, 2017).

2) *Dissolve Oxygen (DO)*

Oksigen terlarut (DO) merupakan indikator kualitas air, karena oksigen yang tergantung dalam air sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme akuatik (Situmorang, 2017). Kebutuhan organisme akan oksigen terlarut berbeda-beda tergantung pada jenis, tahap perkembangan dan aktivitasnya (Arya dan Kusumah, 2017). Kadar oksigen dapat digunakan sebagai penanda tingkat pencemaran air, karena penurunan kadar oksigen dalam air bisa disebabkan oleh zat kimia yang memicu reaksi kimia yang mengonsumsi oksigen (Situmorang, 2017). Kadar oksigen terlarut (DO) dalam air sangat dipengaruhi oleh tingkat pencemaran, jenis limbah, dan jumlah bahan organik yang ada di dalamnya (Hamuna et al., 2018).

3) *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah ukuran penurunan kadar oksigen dalam air yang digunakan oleh organisme akuatik selama lima hari

dalam kondisi gelap tanpa fotosintesis (Situmorang, 2017). Penurunan oksigen ini terjadi karena aktivitas organisme (bakteri) yang mengonsumsi atau menguraikan senyawa organik atau nutrisi lain yang memerlukan oksigen (Situmorang, 2017). Tingginya konsentrasi BOD menunjukkan bahwa perairan tersebut telah tercemar, sedangkan konsentrasi BOD yang rendah menandakan perairan yang masih dalam kondisi baik

4) Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi senyawa kimia dalam air (Situmorang, 2017). Jika COD melebihi batas standar, kandungan oksigen dalam air akan menurun. Kandungan oksigen terlarut yang rendah berdampak negatif pada organisme air (Ningrum, 2018). Tingginya konsentrasi COD menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi dalam suatu perairan (Naillah et al., 2021)

c. Parameter biologi

Kualitas air dalam parameter biologi dapat ditinjau dari keberadaan mikroorganisme yang ada dalam perairan tersebut. Mikroorganisme dapat berkembang baik di dalam air.

Parameter lingkungan ini sangat penting karena sangat mempengaruhi kehidupan berbagai macam organisme di perairan dan dapat mempengaruhi laju metabolisme, pertumbuhan, dan perkembangan organisme di dalam air (Yusal dan Hasyim, 2022). Selain itu, parameter lingkungan juga berfungsi sebagai sumber energi untuk semua kehidupan akuatik, menentukan kesuburan perairan, menjaga keseimbangan difusi atau osmosis, serta mendukung proses respirasi dan sistem reproduksi organisme yang hidup di lingkungan perairan.

5. Pencemaran Air

Definisi pencemaran menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah proses atau tindakan yang mencemari atau mengotori. Pencemaran berarti proses masuknya makhluk hidup, zat energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan (Sylvia et al., 2022). Pencemaran air terjadi ketika bahan atau zat masuk ke dalam badan air, menyebabkan perubahan kimia, fisik, dan biologis yang membuat air tersebut tidak lagi layak untuk digunakan sebagaimana mestinya (Schweitzer dan Noblet, 2018). Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air menyatakan bahwa pencemaran air terjadi ketika berbagai zat, makhluk hidup, energi, atau komponen lain masuk ke dalam air akibat

aktivitas manusia, sehingga menurunkan nilai mutu air dan tidak dapat digunakan sesuai peruntukkannya. Menurut Kustomo (2023) semua hal yang menjadi penyebab pencemaran dinamakan polutan (bahan pencemar). Istilah polutan merujuk pada suatu zat yang jumlah kadarnya berlebihan dan melampaui batas normal. Bahan pencemar yang menyebabkan penurunan kualitas air bisa berupa padatan, cairan, atau gas (Purnomo et al., 2023). Zat pencemar juga sering disebut sebagai limbah. Limbah merupakan sisa bahan hasil dari berbagai aktivitas, termasuk kegiatan rumah tangga, yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan (Sylvia et al., 2022).

Pencemaran air masih menjadi masalah di sebagian besar negara, terutama di negara berkembang, seperti Indonesia. Informasi dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang terdapat dalam buku Statistik Indonesia 2003 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), menunjukkan bahwa lebih dari setengah kualitas air di 34 provinsi berada dalam kondisi tercemar kecuali provinsi pemekaran baru di Papua. Tingkat pencemaran air tertinggi terjadi di Jawa Tengah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, terdapat 1.310 kelurahan di Jawa Tengah yang mengalami pencemaran air. Berdasarkan jumlah tersebut, 65,08% mengalami pencemaran ringan, 8,99%

mengalami pencemaran sedang, 0,17% mengalami pencemaran berat, dan 25,93% berada dalam kondisi baik.

Air dianggap tercemar apabila beberapa parameter kualitasnya terganggu dan melebihi standar baku mutu sehingga air tersebut tidak lagi layak untuk digunakan sebagaimana mestinya (Inyinbor Adejumoke et al., 2018). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu air diartikan sebagai standar yang menunjukkan batas atau tingkat dari makhluk, zat, energi atau komponen yang terdapat atau harus ada dalam air, serta unsur pencemar yang masih bisa ditoleransi kehadirannya di air. Adapun standar baku mutu air sungai yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Baku mutu air Sungai Lampiran VI. PP RI No 22 tahun 2021

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	

7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl ⁻)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Fluorida (F ⁻)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29.	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33.	Kromium heksavalen (Cr-(VII))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/ Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
38.	BHC	µg/L	210	210	210	-	
39.	Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
40.	DDT	µg/L	2	2	2	2	
41.	Endrin	µg/L	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
43.	Lindane	µg/L	56	-	-	-	
44.	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
45.	Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
46.	Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1.000	2.000	2.000	
47.	Total Coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000	
48.	Sampah		nihil	nihil	nihil	nihil	
49.	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengendalian Lingkungan Hidup, air diklasifikasikan menjadi empat kelas: (a) Kelas satu, air yang digunakan sebagai air baku untuk minum dan/atau untuk keperluan lain yang

membutuhkan kualitas air yang sama; (b) Kelas dua, air yang digunakan untuk fasilitas rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, irigasi tanaman, dan/atau keperluan lain yang membutuhkan kualitas air yang sama; (c) Kelas tiga, air yang digunakan untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, irigasi tanaman, dan/atau keperluan lain yang membutuhkan kualitas air yang sama; (d) Kelas empat, air yang digunakan untuk irigasi tanaman dan/atau keperluan lain yang membutuhkan kualitas air yang sama.

Adapun ciri-ciri air tercemar yaitu berbau, berwarna, beracun, berasa. Pencemaran air mengakibatkan penurunan kualitas air, yang pada akhirnya berdampak besar pada lingkungan dan kesehatan. Beberapa faktor penyebab pencemaran termasuk peningkatan populasi, eksploitasi sumber daya yang tidak terkendali, dan industrialisasi yang tidak dikelola dengan baik (Kustomo, 2023). Halder dan Islam (2015) juga menyatakan bahwa berbagai aktivitas manusia, seperti urbanisasi, pertumbuhan penduduk, industri, perubahan iklim, dan faktor lainnya, akan secara langsung mempengaruhi kualitas air. Dalam ayat Al-Quran surat Ar-Rum ayat 41, menjelaskan bahwa kerusakan di bumi disebabkan oleh tindakan manusia.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْأَرْضِ وَالْبَحْرِ يِمَّا كَسَبَتْ أَيْدِيَ النَّاسِ لِيُذِيقُهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."

Pencemaran air berasal dari dua jenis sumber, yaitu kontaminan langsung dan kontaminan tidak langsung. Sumber kontaminan langsung meliputi limbah industri, limbah rumah tangga, tempat pembuangan sampah, serta limbah pertanian atau perkebunan. Sementara itu, sumber kontaminan tidak langsung berasal dari efek komponen lain sebagai perantara, seperti tanah yang tercemar atau atmosfer yang membawa hujan, seperti hujan asam (Purnomo et al., 2023). Beberapa jenis limbah, seperti limbah organic dapat dengan mudah terurai, sementara limbah anorganik tidak dapat terurai.

6. Metode Fitoremediasi

a. Definisi Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari dua kata yaitu *phyto* yang berarti tumbuhan dan *remedium* yang artinya memperbaiki (Sulityaning et al., 2022). Fitoremediasi merupakan bagian dari bioremediasi yang memanfaatkan tanaman untuk membersihkan polutan dari lingkungan (Mustafa dan Gasim, 2021). Tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap

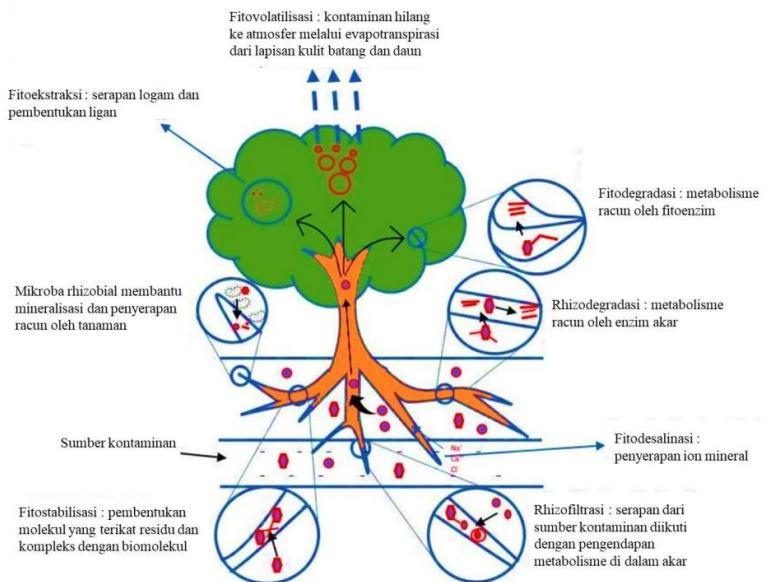
polutan dari lingkungan dan mendektoksifikasinya melalui berbagai mekanisme yang (Sulityaning et al., 2022). Mekanismenya meliputi penyerapan polutan melalui akar, akumulasi dalam jaringan tubuh, penguraian, dan transformasi polutan ke bentuk yang kurang berbahaya (Ansari et al., 2020). Efisiensi dan waktu yang diperlukan tanaman untuk mengurangi polutan dipengaruhi oleh produksi biomassa serta faktor biokonsentrasi yang ada (Herlina et al., 2020).

Menurut Al-Thani dan Yasseen (2020), metode fitoremediasi efektif dalam menghilangkan dan mengurangi berbagai polutan dari air dan tanah yang tercemar. Penggunaan teknik fitoremediasi telah banyak digunakan untuk mengurangi pencemaran. Penggunaan metode ini didorong oleh beberapa faktor, termasuk sifat ramah lingkungan, biaya yang terjangkau, dan efektivitasnya dalam mengatasi polutan yang berpotensi mencemari lingkungan (Sidauruk dan Patricius, 2015).

b. Mekanisme Fitoremediasi

Tanaman memiliki kemampuan dalam menghilangkan kontaminan organik dan anorganik dari tanah dan melalui berbagai mekanisme yang berbeda, tergantung pada jenis tanaman dan kondisi lingkungan (Antoniadis et al., 2017a). Selain itu, tanaman harus toleran terhadap kontaminan dan

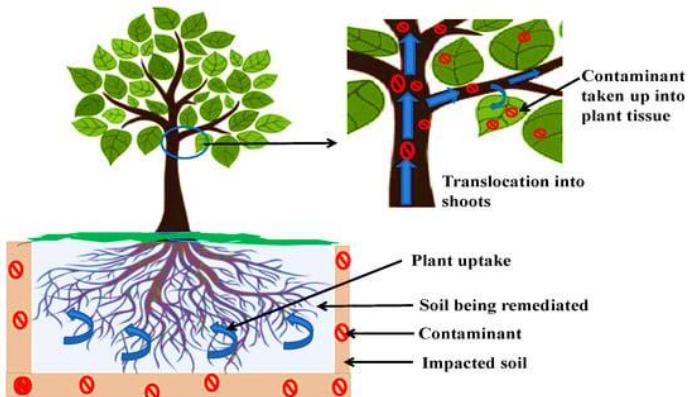
mampu memindahkan kontaminan dari akar hingga ke bagian diatas tanah (Lofty, 2014). Terdapat beberapa metode fitoremediasi antara lain, fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, rhizofiltrasi atau rizodegradasi dan fitofiltrasi selama penyerapan atau agregasi pada tanaman (Kafle et al., 2022). Mekanisme fitoremediasi secara keseluruhan digambarkan dalam Gambar 2.2



Gambar 2.2 Berbagai mekanisme fitoremediasi dan fungsinya
(Kafle et al., 2022)

Mekanisme fitoremediasi (Gambar 2.2) oleh tanaman melibatkan beberapa mekanisme, berikut penjelasan macam-macam mekanismenya:

1) Fitoekstraksi



Gambar 2.3 Proses fitoekstraksi (Khan et al., 2023)

Fitoekstraksi atau disebut fitoakumulasi (gambar 2.3) merupakan teknik di mana tanaman menyerap polutan beracun berupa logam berat dan senyawa organik melalui akarnya lalu mentranslokasikan ke pucuk atau daun (Sulityaning, 2022). Mekanisme umum selama akumulasi senyawa beracun meliputi penyerapan kation dan pembentukan senyawa kompleks selanjutnya yang berikatan dengan fitokelatin atau pembentukan senyawa kompleks dengan ligan didalam sel tumbuhan (Asgari Lajayer *et al.*, 2019).

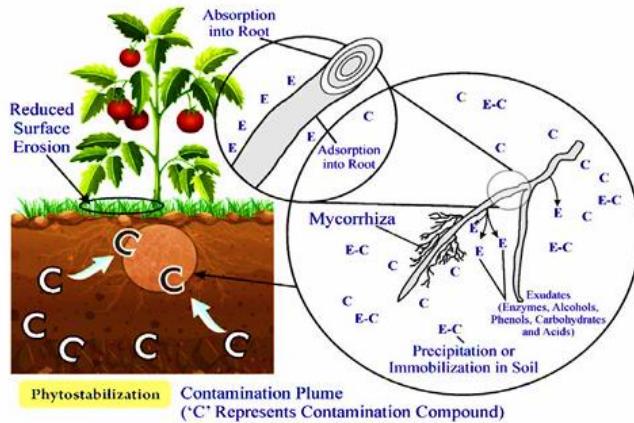
2) Rhizofiltrasi

Rizofiltrasi menggunakan akar tanaman untuk menghilangkan polutan melalui proses adsorpsi yang memanfaatkan akar untuk menyerap, menahan, dan

mengendapkan kontaminan di dalam akar, sehingga membatasi pergerakan kontaminan ke lingkungan lain (Midhat et al., 2019). Dalam proses ini tanaman dan komunitas mikroba memiliki hubungan simboitik. Tanaman meningkatkan aktivitas mikroba, sementara mikroorganisme mendekontaminasi komponen polutan (Sabreena et al., 2022). Selain itu, dalam mikrobioma akar, faktor-faktor lingkungan seperti pH di rhizosfer, eksudat akar, dan pergantian akar, memainkan peran penting dalam pengendapan kontaminan pada permukaan akar (Sabreena et al., 2022).

3) Fitostabilisasi

Fitostabilisasi atau fitorestorasi merupakan mekanisme menggunakan tanaman untuk mereduksi mobilitas kontaminan yang menyebar di dalam lingkungan (Sulityaning, 2022). Proses fitostabilisasi atau fitorestorasi mengurangi pergerakan kontaminan, sehingga menghambat masuknya kontaminan ke dalam air tanah dan mencegah biomagnifikasi (Van Oosten dan Maggio, 2015). Proses ini bergantung pada spesies tanaman dan kestabilan kontaminan di lingkungan tercemar.

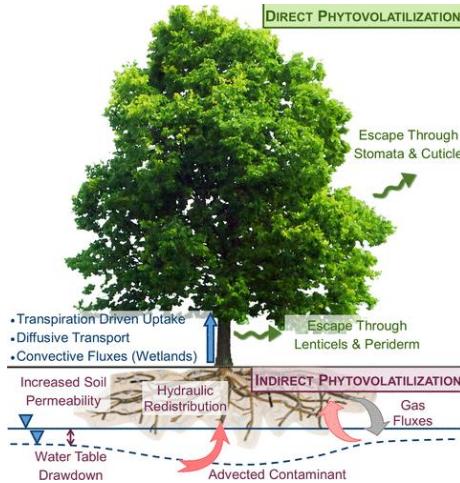


Gambar 2.4 Proses Fitostabilisasi (Saha et al., 2017)

Gambar 2.4 merupakan proses fitostabilisasi, dimana zat-zat kontaminan yang menempel pada akar dan tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Prosesnya meliputi transpirasi dan pertumbuhan akar yang melumpuhkan kontaminan dengan mengurangi pencucian, mengendalikan erosi, menciptakan lingkungan aerobik di zona akar, dan menambahkan bahan organik ke substrat yang mengikat kontaminan.

4) Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi adalah penyerapan, translokasi, dan penguapan polutan oleh spesies tanaman, dengan jenis polutan yang dimodifikasi dibuang ke atmosfer (*Khan et al., 2023*).



Gambar 2.5 Proses fitovolatilisasi (Limmer dan Burken, 2016)

Mekanisme fitovalatilisasi ditunjukkan pada gambar 2.5 dimana teknik fitovalatilisasi dibedakan menjadi dua yaitu fitovalatillisasi langsung dan tidak langsung. Fitovalatilisasi langsung adalah penyerapan tanaman dan translokasi kontaminan, yang akhirnya menyebabkan penguapan senyawa dari batang dan daun. Sedangkan Fitovalatilisasi tidak langsung adalah peningkatan fluks kontaminan yang mudah menguap dari bawah permukaan yang dihasilkan dari aktivitas akar tanaman (Limmer dan Burken, 2016).

5) Fitodegradasi

Fitodegradasi merupakan proses degradasi kontaminan oleh tanaman melalui proses metabolisme di

dalam tanaman (Sulityaning *et al.*, 2022). Menurut (Lakshmi *et al.*, 2017) dalam proses fitodegradasi kontaminan organik yang ada di dalam dan di sekitar tanaman dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana oleh aktivitas enzimatik tanaman dan mikroorganisme terkaitnya. Enzim yang berperan pada proses fitodegradasi adalah dehalogenase, oxygenase dan reductase dalam mempercepat proses degradasi (Ahmad dan Adiningsih, 2019).

Mekanisme fitoremediasi lahan tercemar polutan baik organik maupun inorganik memerlukan waktu yang cukup lama karena tumbuhan membutuhkan waktu dalam memproses ion-ion logam berat di dalam organ tumbuhan tersebut. Dalam mekanisme penyerapan, tumbuhan memiliki proses-proses didalamnya. Tumbuhan mengambil atau menyerap logam berat dari tanah melalui akar-akar pada tumbuhan. Setelah penyerapan melalui akar-akar pada tumbuhan, ion-ion yang terdapat pada polutan di dalamnya salah satunya dapat disimpan di akar atau ditranslokasi ke batang melalui xylem dan pembuluh/jaringan tumbuhan (Titah *et al.*, 2018).

c. Kelebihan dan Kekurangan Metode Fitoremediasi

Penggunaan metode fitoremediasi memiliki beberapa keuntungan antara lain, yaitu memiliki kemampuan untuk

menghasilkan buangan sekunder dengan tingkat toksisitasnya lebih rendah, lebih ramah lingkungan serta biaya lebih murah dibandingan dengan teknik in-situ dan ex-situ lainnya. Selain itu, tanaman juga dapat dengan mudah dipantau untuk memastikan pertumbuhannya (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Selain itu metode ini juga memiliki kelemahan diantaranya yaitu, membutuhkan waktu yang cukup lama dan kemungkinan terdapat kontaminan yang memasuki rantai makanan melalui hewan yang mengkonsumsi tanaman tersebut (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

7. Analisis Vegetasi Gulma riparian

Analisis vegetasi merupakan Analisis vegetasi adalah suatu cara untuk menentukan komposisi jenis vegetasi dari yang paling dominan hingga tidak dominan. Analisis vegetasi gulma riparian dapat dilakukan untuk menjabarkan potensi yang ada di dalamnya serta untuk mengidentifikasi jenis kerapatan, frekuensi, dominansi, nilai indeks penting dan nilai keanekaragamannya.

a. Kerapatan

Kerapatan merujuk pada jumlah individu suatu jenis tumbuhan dalam suatu luasan tertentu (Hidayat, 2018). Soegianto (1994), menjelaskan bahwa, data untuk

menghitung kerapatan adalah jumlah individu dan luas area pengambilan sampel (petak pengamatan atau plot).

b. Frekuensi

Frekuensi mengukur seberapa sering suatu spesies muncul dalam plot-plot pengamatan. Soegianto (1994), menjelaskan bahwa, data untuk menghitung frekuensi spesies adalah jumlah petak pengamatan ditemukannya spesies dan jumlah semua petak pengamatan yang dibuat.

c. Dominansi

Dominansi merupakan penguasaan suatu spesies dalam suatu vegetasi atau komunitas (Heddy, 2012). Dengan kata lain, dominansi menunjukkan seberapa besar suatu spesies mendominasi suatu area tertentu dibandingkan spesies lainnya.

d. Indeks nilai penting

Indeks nilai penting ini menunjukkan spesies yang mendominasi di lokasi penelitian.

e. Indeks Keanekaragaman

Keanekaragaman diukur berdasarkan jumlah jenis dan kemerataan kelimpahan individu dari tiap jenis yang ditemukan (Febrian *et al.*, 2022). Nilai indeks keanekaragaman (H') berhubungan dengan kekayaan

spesies pada lokasi tertentu, tetapi juga dipengaruhi oleh distribusi kelimpahan spesies (Malik & Kusumarini, 2019).

B. Kajian Pustaka yang Relevan

Tabel 2.3 Kajian Pustaka yang Relevan

Judul/ Penulis/ Tahun/ Jurnal	Metode	Hasil	Gap Penelitian
1. Application of aquatic plants alone as well as in combination for phytoremediation of household and industrial wastewater/ Raza et al. (2023) Elsevier.	Penelitian menggunakan metode eksperimen.	Duckweed, pennywort, dan alligator weed efektif menghilangkan timbal dan seng dari air limbah, dengan alligator weed 100% paling unggul dalam mengatasi limbah rumah tangga. Water lettuce juga efisien dalam mengurangi klorida dan kalium, sementara kombinasi tanaman membantu mengatasi sulfat.	Penelitian ini terbatas pada gulma local di Pakistan. Efektivitas tanaman air mungkin berbeda di lokasi geografis lain dengan kondisi lingkungan yang berbeda.
2. Potentially Toxic Elements	Penelitian menggunakan	ini Beberapa spesies gulma air menunjukkan	Studi ini fokus pada elemen toksik tertentu,

Contamination and its Removal by Aquatic Weeds in the Rivirine System: A Comparative Approach/ Ulaganathan (2022)/ Elsevier.	metode eksperimen.	kemampuan yang signifikan dalam menghilangkan logam bera seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri dari air sungai yang tercemar.	namun interaksi antara elemen toksik dan polutan lain (seperti nutrien atau bahan organik) dalam sistem sungai belum dieksplorasi secara mendalam.
3. Phytoextraction of arsenic using a weed plant <i>Calotropis procera</i> from contaminated water and soil: growth and biochemical response / Singh & Fulzele (2021)	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan analisis deskriptif	<i>Calotropis procera</i> menunjukkan toleransi yang baik terhadap konsentrasi arsenic yang tinggi, dengan pertumbuhan yang relatif setabil.	Penelitian ini belum mengekplorasi variasi genetic dalam populasi <i>Calotropis procera</i> yang mungkin mempengaruhi kemampuan phytoextraction.

Journal of
Pytoremediation.

4. Pengaruh Fitoremediasi Kangkung (*Ipomoea aquatica*), Apu-apu (*Pistia stratiotes*) dan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Kualitas Air Kolam Budiaya Ikan Lele (*Clarias sp*)/ (Toepak et al., 2020) Jurnal Jejaring Matematika dan Sains.
- Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan teknik simple random. Hasil pengujian kualitas air menggunakan kangkung (*Ipomoea aquatica*), apu-apu (*Pistia stratiotes*) dan enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terbukti efektif menurunkan TSS, pH air. Penelitian ini belum mengkaji efektivitas fitoremediasi pada berbagai konsentrasi polutan yang berbeda.

<p>5. Phytoremediation capabilities of <i>Salvinia molesta</i>, water hyacinth, water lettuce, and duckweed to reduce phosphorus in water/ (Kumar & Deswal, 2020)/ International Journal of Phytoremediation</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimen.</p>	<p>Tanaman yang diuji cobakan menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam menurunkan konsentrasi fosfor hingga 80% dan COD hingga 75% dalam kurun waktu 15 hari.</p>	<p>Penelitian ini hanya mencakup periode 15 hari. Studi jangka panjang diperlukan untuk memahami efek kumulatif dan keberlanjutan penggunaan tanaman ini.</p>
<p>6. Phytoassessment of in situ weed diversity for their chromium distribution pattern and accumulation indices of</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode analisis vegetasi di tiga area tambang yang tercemar limbah Cr. Selain itu dalam studi ini</p>	<p>Penelitian ini mengidentifikasi beberapa spesies gulma yang tumbuh di area yang terkontaminasi kromium, sehingga menunjukkan potensi sebagai</p>	<p>Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk pemantauan jangka panjang untuk memahami efektivitas penggunaan gulma ini untuk fitoremediasi.</p>

abundant weeds at South Kaliapani chromite mining area with their phytoremediation prospective/ (Mohanty & Kumar Patra, 2020) Elsevier. mengukur biokonsentrasi relative kromium di berbagai bagian dengan analisis indeks fitoremediasi terkait penyerapan yaitu Faktor biokonsentrasi (BCF), Indeks transportasi (Ti), Faktor translokasi (TF) dan Rasio ekstraksi logam (MER) untuk menilai potensi hiperakumulasi.

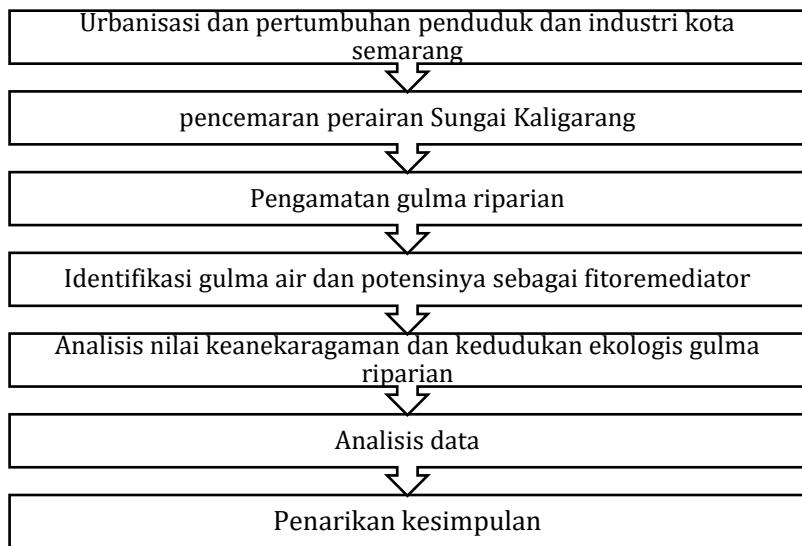
7. Studi Pengetahuan Melalui metode observasi dengan Ditemukan beberapa jenis gulma air yang umum di daerah
- Penelitian ini menggunakan banyak data kualitatif.

<p>Masyarakat Mengenai Gulma Air Sebagai Bioindikator Pencemaran Air Di Desa Lambur Luar Kabupaten Tanjung Jabung Timur/ (Nuraida & Susanti, 2019)./ Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan.</p>	<p>pendekatan deskriptif.</p>	<p>tersebut, seperti eceng gondok dan kangkung air, yang dapat digunakan sebagai indikator pencemaran air. Sebagian besar masyarakat hanya mengenali beberapa jenis gulma air dan memiliki pengetahuan terbatas mengenai peran gulma air sebagai bioindikator pencemaran air.</p>	<p>Penelitian diperlukan untuk mengukur secara lebih akurat dampak gulma air terhadap kualitas air.</p>	<p>lanjutan</p>
<p>8. Phytoremediation of heavy metal Copper (II) from aqueous environment by using aquatic macrophytes</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimen menggunakan gulma air Hydrilla verticillata dan Pistia stratioes.</p>	<p>Penelitian menunjukkan bahwa gulma air Hydrilla verticillata dan Pistia stratioes memiliki kemampuan untuk menoleransi dan mengurangi pencemaran</p>	<p>Penelitian ini hanya menggunakan satu konsentrasi tembaga. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi</p>	

<p>Hydrilla verticillata and Pistia stratiotes/ (Venkateswarlu et al., 2019)/ International Journal of Fishenes and Aquatic Studies.</p>	<p>Kedua gulma tembaga ditingkungan akuatik. ditempatkan dalam tank berisi larutan tembaga dengan konsnetrasi berbeda selama 28 hari.</p>	<p>tanaman pada berbagai konsentrasi logam.</p>
<p>9. Efektifitas Beberapa Jenis Gulma Air Terhadap Penurunan Kadar Logam Berat Pada Air Bekas Galian Pasca Tambang Batubara (Void)/ Karyati et al. (2019) / Aquatic</p>	<p>Menggunakan teknik purposive sampling dan dianalisis menggunakan analisis deskriptif dan analisis tren</p>	<p>gulma air seperti kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>), eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>), dan kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) efektif dalam menurunkan kadar logam berat seperti Mn dan Fe dalam air bekas galian tambang.</p>

jurnal manajemen sumberdaya perairan	Penelitian ini menggunakan desain percobaan Rancangan Acak Kelompok (RAK)	Kombinasi gulma air eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>), kiambang (<i>Salvinia molesta</i>), dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) efektif dalam menurunkan nilai COD, BOD, TSS, ammonia, dan minyak lemak dalam pengamatan hari ke-8	Penelitian ini hanya berfokus pada air limbah domestic. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melihat efektivitas fitoremediasi ini terhadap jenis limbah lainnya.
10. Fitoremediasi dengan Kombinasi Gulma Air untuk Memperbaiki Kualitas Air Limbah Domestik/ Imron et al. (2019) / Jurnal Ilmu Lingkungan.			

C. Karangka Berpikir



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

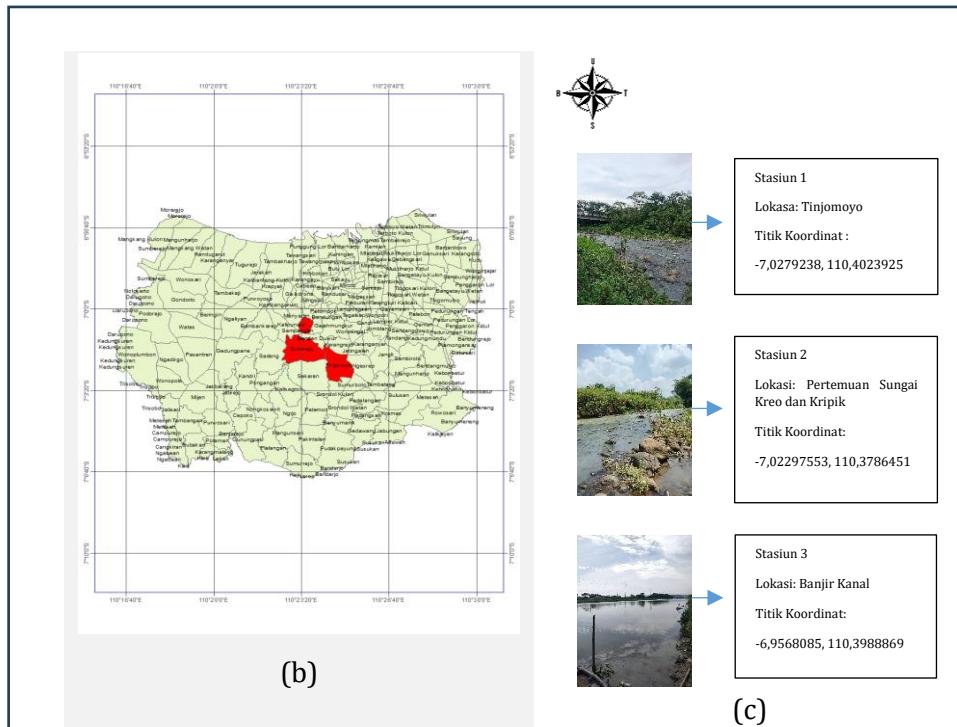
Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif, yang didasarkan pada hasil observasi lapangan. Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data, diikuti dengan identifikasi dan deskripsi keragaman gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November sampai Desember 2024 di Daerah Aliran Sungai Kaligarang Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1



(a)



Gambar 3.1 Peta Indonesia (a), Titik Pengambilan Sampel (b) (ArcGIS, 2024), Foto Lokasi Pengambilan Sampel (c) (Dokumen Penelitian, 2024)

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi GPS (untuk menentukan titik koordinat lokasi pengamatan); hygrometer (untuk mengukur tingkat kelembaban udara dan tanah); lux meter (untuk mengukur intensitas cahaya); roll meter (untuk mengukur luas area pengamatan); pH meter (untuk menentukan tingkat keasaman atau kebasaan air); soil

meter (untuk mengukur pH tanah); pasak (penanda area pengamatan); tali rafia (untuk memetakan plot pengamatan); kantong plastik (tempat penyimpanan sampel); kamera (Dokumentasi pengamatan); alat tulis (mencatat hasil observasi); lembar observasi (untuk mencatat data hasil pengamatan dan kondisi lingkungan); kertas label (untuk menandai sampel); buku identifikasi gulma (panduan untuk mngidentifikasi jenis-jenis gulma) dan spesimen gulma yang ditemukan.

D. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan sumber data primer dan sumber data sekunder. Data primer dalam penelitian ini didapatkan melalui observasi lapangan ke lokasi untuk memperoleh informasi yang menunjang serta melengkapi pembahasan dalam penelitian ini. Data primer dalam penelitian ini berupa jenis-jenis gulma riparian yang berada di daerah aliran Sungai Kaligarang Kota Semarang dan data parameter lingkungan. Sementara data sekunder yang berkaitan dengan identifikasi gulma yang berpotensi sebagai fitoremediator diperoleh dari berbagai sumber pustaka, termasuk artikel, buku, dan situs website ilmiah.

E. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* dengan pendekatan transek kuadrat. *Purposive sampling* merupakan teknik pemilihan dan pengambilan sampel suatu populasi berdasarkan kepentingan proporsional dan petimbangan spesifik, sehingga sampel tersebut dapat digunakan sebagai perwakilan yang akurat dalam analisis (Amru *et al.*, 2022).

Pengambilan sampel dilakukan di 3 stasiun dengan karakteristik berbeda yang dianggap mewakili kondisi perairan. Stasiun 1 berada di Tinjomoyo di daerah pemukiman dan industri serta ladang. Stasiun 2 berlokasi di pertemuan aliran antara sungai Kreo dan Sungai Kripik. Stasiun 3 berada di Sungai Banjir kanal. Pada setiap stasiun terdiri dari 6 plot yang berukuran $1 \times 1 \text{m}^2$ dengan jarak antar plot 3m. Penggunaan jarak 3m antar plot akan memberikan ruang yang cukup untuk menghindari interferensi antar plot dan memastikan bahwa setiap plot dapat mewakili kondisi gulma air di area tersebut.

2. Identifikasi

Untuk melakukan identifikasi gulma riparian yang ditemukan di setiap plot pengamatan di deskripsikan dan identifikasi jenisnya, jumlahnya, kerapatan, frekuensi serta dominansinya. Identifikasi gulma air menggunakan buku

identifikasi weeds of Rice in Indonesia (Soerjani et al., 1986) serta studi pustaka. Gulma yang diidentifikasi hanya gulma yang telah memiliki organ lengkap seperti akar, batang, daun. Spesies yang belum diketahui jenisnya dijadikan herbarium dan selanjutnya akan diidentifikasi di laboratorium UIN Walisongo Semarang.

3. Dokumentasi

Dokumentasi dalam penelitian ini berbentuk gambar atau foto yang berfungsi sebagai pelengkap penelitian dan menunjang kegiatan penelitian.

4. Pengukuran parameter lingkungan

Pada masing-masing stasiun dilakukan pengukuran kualitas air. Parameter lingkungan yang diukur langsung di lokasi penelitian meliputi, kelembaban tanah, intensitas cahaya, pH air atau pH tanah. Sedangkan untuk mengetahui kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan kadar DO dilakukan pengukuran di Laboratorium Kesehatan (LABKES) Kota Semarang.

F. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Identifikasi tumbuhan dilakukan dengan mendeskripsikan dan mengidentifikasi tumbuhan yang ditemukan secara morfologi dan menganalisis data potensi yang berpotensi sebagai fitoremediator melalui literatur, serta

melakukan analisis kuantitatif untuk menghitung kerapatan, frekuansi, indeks nilai penting dan indeks keanekargaman Shannon-Wiener dengan menggunakan rumus berikut:

1. Kerapatan Mutlak

Menurut Krebs (1978), untuk menghitung nilai kerapatan digunakan rumus adalah sebagai berikut.

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Banyak unit sampel (plot) yang dibuat}}$$

Soegianto (1994) menjelaskan bahwa, selain kerapatan terdapat juga kerapatan relatif yang digunakan untuk menghitung indeks nilai penting (INP). Data untuk menghitung kerapatan relatif adalah kerapatan individu dan jumlah kerapatan seluruh individu. Menurut Krebs (1978), untuk menghitung nilai kerapatan relatif digunakan rumus sebagai berikut:

Kerapatan Relatif (KR)

$$= \frac{\text{Kerapatan mutlak}}{\text{Kerapatan mutlak seluruh jenis}} \times 100\%$$

2. Frekuensi Mutlak

Menurut Krebs (1978), untuk menghitung frekuensi spesies digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Jumlah plot ditemukannya spesies}}{\text{Jumlah seluruh petak pengamatan}}$$

Soegianto (1994) menjelaskan bahwa, selain frekuensi terdapat juga Frekuensi relatif yang digunakan untuk menghitung indeks nilai penting (INP). Frekuensi relatif

adalah presentase frekuensi suatu spesies dibandingkan dengan total frekuensi seluruh jenis tumbuhan. Menurut Krebs (1978), untuk menghitung frekuensi relatif menggunakan rumus sebagai berikut:

Frekuensi Relatif (FR)

$$= \frac{\text{Frekuensi suatu spesies}}{\text{Jumlah frekuensi seluruh spesies}} \times 100\%$$

3. Indeks nilai penting

Perhitungan indeks nilai penting tumbuhan baMueller & Ellenberg (1974)dari Mueller & Ellenberg (1974)

Indeks nilai Penting (INP)= Kerapatan relatif (%) + Frekuensi relatif (%)

4. Indeks Keanekaragaman

Kelimpahan individu tiap jenis dapat dihitung menggunakan rumus indeks keanekaragaman jenis dari Shannon & Wiener (1963):

$$H' = - \sum \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right)$$

$$\text{Dimana: } pi = \frac{ni}{N}$$

Keterangan:

H = Indeks Keanekaragaman

Ni = Jumlah individu dalam satu spesies

N = Jumlah total individu spesies yang ditemukan (Rozak, 2020).

Besarnya indeks keanekaragaman jenis menurut Shannon

- Wiener didefinisikan sebagai berikut

- $H' > 3$ menunjukkan keanekaragaman spesies yang tinggi.
- $1 \leq H' \leq 3$ menunjukkan keanekaragaman spesies yang sedang.
- $H' < 1$ menunjukkan keanekaragaman spesies yang rendah.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lokasi penelitian telah mengalami perubahan yang signifikan selama bulan November – Desember 2024, yang dipicu oleh perubahan iklim yang terjadi secara drastis. Curah hujan yang lebih tinggi dari biasanya berdampak pada kelimpahan dan diversitas gulma riparian. Hasil pengamatan spesies yang ditemukan pada pengambilan sampel dideskripsikan pada Tabel 4.1.

A. Spesies Gulma Riparian di DAS Kaligarang

1. Jenis Vegetasi Gulma Air yang di Temukan di DAS Kaligarang

Gulma riparian ditemukan melimpah di sepanjang tepian sungai Kaligarang Kota Semarang, baik gulma yang tumbuh mengapung di permukaan maupun gulma yang terendam sebagian atau seluruh bagiannya di bawah permukaan air. Keanekaragaman tumbuhan di suatu kawasan dapat dilihat dari banyaknya jenis organisme yang membentuk komunitas atau vegetasi di wilayah perairan sungai (Hidayah et al., 2022). Berdasarkan hasil identifikasi yang telah dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaligarang Kota Semarang bagian hulu, tengah, dan hilir sungai berhasil teridentifikasi sebanyak 27

spesies gulma riparian. Data jenis gulma riparian yang ditemukan ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Daftar Spesies Gulma Riparian di Stasiun Pengamatan

Stasiun	Spesies	Famili	Nama Lokal	Pengelompokan Gulma	Jumlah Spesies
I	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Convolvulaceae	Ubi jalar hutan	Berdaun lebar	9
	<i>Bidens pilosa</i> L.		Ketul	Berdaun lebar	13
	<i>Mikania micrantha</i>	Asteraceae	Sambung rambat	Berdaun lebar	20
	<i>Eclipta prostrata</i>		Urang-aring	Berdaun lebar	7
	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Cyperaceae	Jakut pendul	Teki-tekian	7
	<i>Cyperus alternifolius</i> L.		Rumput payung	Teki-tekian	3
	<i>Cyperus iria</i> L.		Jekeng	Teki-tekian	1
	<i>Cyperus pumilus</i> L.		Teki ladang	Teki-tekian	2

	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	Amaranthaceae	Kremah	Berdaun lebar	14
	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.		Kremah	Berdaun lebar	29
	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	Onagraceae	Cecabean	Berdaun lebar	33
	<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Rumput bebek	Rerumputan	26
	<i>Leptochloa chinensis</i>		Timunan	Rerumputan	4
	<i>Eleusine indica</i>		Rumput belulang	Rerumputan	2
	<i>Commelina diffusa</i> Burm f.	Commelinaceae	Aur-aur	Berdaun lebar	4
	<i>Monochoria vaginalis</i>	Pontederiaceae	Eceng padi	Berdaun lebar	2
II	<i>Ludwigia perennis</i> L.	Onagraceae	Cecabean	Berdaun lebar	3

	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>		Cecabean	Berdaun lebar	5
	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	Ketul	Berdaun lebar	3
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Convolvulaceae	Kangkung	Berdaun lebar	2
	<i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl	Cyperaceae	Bebawangan	Teki-tekian	4
	<i>Cyperus rotundus</i> L.		Rumput teki	Teki-tekian	2
	<i>Commelina diffusa</i> Burm f.	Commelinaceae	Aur-aur	Berdaun lebar	28
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv. Var	Poaceae	Alang-alang	Rerumputan	6
	<i>Bambusa</i> sp.		Bambu	Rerumputan	1
	<i>Echinochloa colona</i>		Tuton	Rerumputan	44
	<i>Lindernia antipoda</i>	Linderniaceae	Mata yuyu	Berdaun lebar	4

III	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Pontederiaceae	Eceng gondok	Berdaun lebar	20
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Convolvulaceae	Kangkung	Berdaun lebar	16
	<i>Cyperus imbricatus</i> Retz.	Cyperaceae	Rumput sirap	Teki-tekian	10
	<i>Cyperus rotundus</i> L.		Rumput teki	Teki-tekian	5
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Amaranthaceae	Kremah air	Berdaun lebar	10
	<i>Brachiaria mutica</i>	Poaceae	Rumput malela	Rerumputan	37
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	Krokot	Berdaun lebar	3

Berdasarkan Tabel 4.1 Gulma riparian yang ditemukan di sekitar daerah aliran sungai Kaligarang Kota Semarang yaitu sebanyak 27 spesies yaitu *Ipomoea triloba*, *Bidens pilosa*, *Kyllinga brevifolia*, *Cyperus alternifolius*, *Alternanthera philoxeroides*, *Monochoria vaginalis*, *Ludwigia perennis*, *Ipomoea aquatica*, *Fimbristylis miliacea*, *Commelinina diffusa*, *Cyperus rotundus*, *Eichhornia crassipes*, *Cyperus imbricatus*, *Brachiaria mutica*, *Alternanthera sessilis*, *Portulaca oleracea*, *Cyperus iria*, *Cyperus pumilus*, *Leptochloa chinensis*, *Eleusine indica*, *Lindernia antipoda*, *Imperata cylindrica*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Eclipta prostrata*, *Bambusa sp.*, *Echinochloa colona*, *Mikania micrantha*.

Berdasarkan pengelompokannya, gulma-gulma tersebut dikategorikan ke dalam golongan gulma berdaun lebar sebanyak 14 spesies yang berasal dari famili Convolvulaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, Commelinaceae, Pontederiaceae, Linderniaceae. Gulma yang tergolong dalam rerumputan sebanyak 6 spesies yang berasal dari famili Poaceae, dan gulma teki-tekian 7 spesies yang berasal dari famili Cyperaceae. Dari 27 spesies yang berhasil di identifikasi anggota gulma golongan berdaun lebar memiliki jumlah terbanyak.

Berdasarkan habitatnya gulma pertumbuhannya, gulma-gulma yang ditemukan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu gulma terapung, gulma tenggelam, dan gulma tumbuh dari dasar serta muncul ke permukaan. Gulma terapung seperti

Eichhornia crassipes dan *Ipomoea aquatica* memiliki kemampuan mengapung di permukaan air. Sementara itu, gulma seperti *Monochoria vaginalis*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Fimbristylis miliacea*, dan *Lindernia antipoda* termasuk dalam kelompok gulma tumbuh dari dasar muncul ke permukaan. Sedangkan sebagian besar spesies lainnya seperti *Ipomoea triloba*, *Bidens pilosa*, *Kyllinga brevifolia*, *Cyperus alternifolius*, *Ludwigia perennis*, *Commelina diffusa*, *Cyperus rotundus*, *Eichhornia crassipes*, *Cyperus imbricatus*, *Brachiaria mutica*, *Alternanthera sessilis*, *Portulaca oleracea*, *Cyperus iria*, *Cyperus pumilus*, *Leptochloa chinensis*, *Eleusine indica*, *Imperata cylindrica*, *Eclipta prostrata*, *Bambusa* sp., *Echinochloa colona*, *Mikania micrantha* merupakan gulma daratan yang tumbuh di lahan basah atau tepi perairan.

Jumlah spesies gulma riparian yang ditemukan berbeda di setiap stasiunnya. Stasiun 1 berada di hulu sungai yang terletak di Tinjomoyo, jumlah gulma yang di peroleh yaitu 181 individu dengan 15 jenis spesies yang tersebar ke dalam 7 famili. Stasiun 2 merupakan bagian tengah sungai yang berada di pertemuan sungai Kreo dan sungai Kripik dengan jumlah gulma yang diperoleh yaitu sebanyak 104 individu dengan 12 jenis spesies yang tersebar ke dalam 8 famili. Stasiun 3 yaitu hilir sungai yang berada di Banjir Kanal, jumlah spesies yang diperoleh yaitu 101 individu dengan 7 jenis spesies yang tersebar ke dalam 6 famili. Berdasarkan data Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa stasiun 1 memiliki jumlah spesies

yang lebih banyak daripada stasiun 2 dan 3. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh lokasi di stasiun 1 yang masih relatif alami, dengan minimnya aktivitas manusia. Sebaliknya dilihat pada stasiun 2 dan 3 yang cenderung menunjukkan lebih banyaknya aktivitas industri dan padatnya permukiman di sekitar aliran sungai, yang dapat mempengaruhi keberadaan vegetasi dan jumlah spesies di wilayah tersebut.

Hasil vegetasi keanekaragaman gulma riparian yang diperoleh di setiap stasiun pengamatan menunjukkan adanya variasi dan beragamnya jenis gulma riparian yang ada di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaligarang. Keberagaman ini dapat di lihat dari 27 spesies yang di dapat. Menurut (Krebs & Loeschke, 1994) keberadaan setiap spesies merupakan indikator kemampuan adaptasi terhadap seluruh faktor lingkungan seperti suhu, cahaya, struktur tanah, kelembaban, pH, nutrisi tanah, air dan lainnya. Kondisi lingkungan yang baik akan mendukung tumbuh dan kembangnya suatu spesies tanaman (Naharuddin, 2017). Berdasarkan hasil vegetasi gulma riparian diatas, berikut karakter morfologi yang dapat dideskripsikan sebagai berikut.

a. *Ipomoea triloba* L.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Perawakan *Ipomoea triloba*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom : Plantae

Divisi : Tracheophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Solanales

Famili : Convolvulaceae

Genus : Ipomoea L.

Spesies : *Ipomoea triloba* L. (www.gbif.com, 2025)

Ipomoea triloba atau yang dikenal dengan ubi jalar hutan merupakan tumbuhan menjalar yang berasal dari famili Convolvulaceae. Tumbuhan ini memiliki sistem akar tunggang berwarna coklat-putih, tanpa akar adventif. Batang herba, berbentuk silindris, berwarna hijau hingga coklat muda, ditutupi dengan banyak trikoma. Daun tunggal, permukaannya gundul,

pangkal berbentuk jantung, ujung meruncing (Londhe dan Bhuktar, 2023). *Ipomoea triloba* memiliki bunga yang sifatnya biseksual dan simetris radial, tumbuh di ketiak daun dan bunga berbentuk lonceng dan warnanya bervariasi mulai warna merah, pink, ungu atau putih (Hasan et al., 2018). Biji yang matang berwarna coklat kehitaman, berbulu, berbentuk segitiga bulat.

Tumbuhan ini memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan yang ekstrem. Meskipun penelitian spesifik mengenai tanaman ini masih terbatas, studi tentang genus *Ipomoea* menunjukkan bahwa tumbuhan ini memiliki kapasitas remediasi. Penelitian Nur et al. (2022) telah melaporkan *Ipomoea aquatica*, yang masih satu genus dengan *Ipomoea triloba*, memiliki efektivitas dalam meremediasi berbagai jenis limbah logam kadmium (Cd) dan timbal (Pb) dari tanah yang terkontaminasi (Saad et al., 2020).

b. *Bidens pilosa* L.



(a)

(b)

Gambar 4.2 Perawakan *Bidens pilosa* L.

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

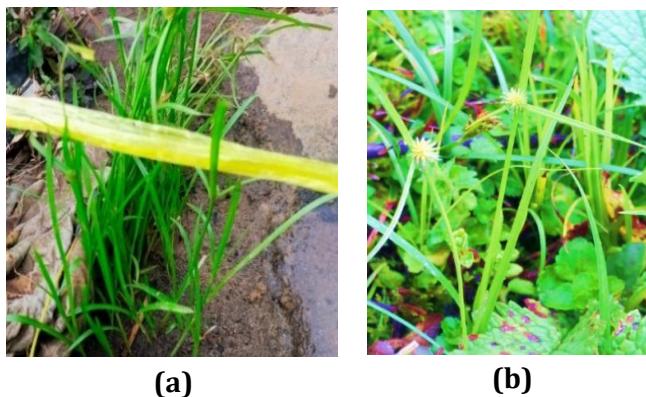
Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: Bidens L.
Spesies	: <i>Bidens pilosa</i> L. (https://www.itis.gov/ , 2025)

Bidens pilosa atau dikenal dengan ketul merupakan gulma herba tahunan yang tersebar luas di wilayah tropis dan subtropis (Wang et al., 2017). Batang berbentuk segi empat, beralur, cabang-cabang saling berhadapan (Bairwa et al., 2010). Daun tersusun berlawanan, tepi bergerigi, berbentuk bulat telur memanjang dengan pangkal yang meruncing dan ujung meruncing, tulang daun

menyirip (Budumajji & Solomon Raju, 2018). Tipe bunganya majemuk berbentuk capitulum, mahkota bunga berbentuk tabung dengan lima lobus dan dikelilingi lima benang sari yang menyatu membentuk tabung antera (Budumajji & Solomon Raju, 2018).

Bidens pilosa merupakan tumbuhan yang menunjukkan toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, memiliki laju pertumbuhan yang cepat, serta mampu menghasilkan biomassa dalam jumlah yang besar (Dai et al., 2021). Selain itu, penelitian yang dilakukan Dou et al. (2019) mengungkapkan bahwa *Bidens pilosa* memiliki kemampuan dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat seperti Cd, Cu dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat seperti Cd, Cu dan Pb sehingga menjadikannya spesies yang potensial untuk aplikasi fitoremediasi.

c. *Kyllinga brevifolia* Rottb.



Gambar 4.3 Perawakan *Kyllinga brevifolia*
(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: <i>Kyllinga</i> Rottb.
Spesies	: <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb. (https://www.itis.gov/ , 2025)

Kyllinga brevifolia atau jukut pendul merupakan gulma herba menahun invasif yang berkembang biak melalui cara vegetatif (melibatkan rimpang dan stolon) dan aseksual (melalui biji yang tumbuh menjadi tanaman dewasa) (Das dan Dutta, 2025). Rimpang tanaman ini panjang, menjalar, dan tipis dengan ketebalan berkisar 0,5-1 mm, sedangkan batang halus, hijau, trigonoid, dan berukuran 0,5-1,5 mm secara diametris. Daun basal berbentuk linier, lebar 1,5-3 mm, bertepi. Struktur buahnya berbentuk bulat telur dan elips. Butir serbuk sari simetris radial dan memiliki empat lubang dengan satu lubang ulseroid distal (Das dan Dutta, 2025).

Kyllinga brevifolia merupakan tumbuhan yang memiliki vitalitas tinggi dengan laju pertumbuhan yang cepat, sehingga berpotensi digunakan dalam fitoremediasi (Hao et al., 2015). Penelitian yang dilakukan Hao et al. (2015) mengungkapkan bahwa *Kyllinga brevifolia* menunjukkan toleransi yang tinggi terhadap Cd dan memiliki kemampuan mengakumulasi logam di akar dan pucuk ketika tumbuh di tanah yang terkontaminasi Cd.

d. *Cyperus alternifolius* L.



(a)

(b)

Gambar 4.4 Perawakan *Cyperus alternifolius*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: Cyperus L.
Spesies	: <i>Cyperus alternifolius</i> L. (www.gbif.com , 2025)

Cyperus alternifolius atau rumput payung merupakan tumbuhan yang termasuk ke dalam familli Cyperaceae yang umumnya menyukai habitat yang lembab, berair, dan berumpun (Sari et al., 2015). Tumbuhan ini memiliki tinggi hingga 2,5 m. Memiliki batang segitiga yang tidak berongga. Tumbuhan ini

mempunyai tangkai berbentuk segitiga, dengan panjang batang dewasa 0,5 - 1,5 meter. Panjang daun antara 12 - 15 cm dan pada bagian tengah-tengah daun tumbuh bunga-bunga kecil bertangkai, berwarna kehijauan.

Tumbuhan ini memiliki akar merambat yang kuat dan kompleks dengan karakteristik pertumbuhan yang cepat (Sa'At et al., 2017). Dengan kemampuannya dalam menyerap berbagai polutan, tanaman ini terbukti efektif dalam penghilangan fosfor dari air limbah domestik (Thongtha et al., 2014). Selain itu, tumbuhan ini digunakan untuk menghilangkan etanolamin pada air limbah yang terkontaminasi (Dolphen dan Thiravetyan, 2015).

e. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.)



(a)

(b)

Gambar 4.5 Perawakan *Alternanthera philoxeroides*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom : Plantae

Divisi : Tracheophyta

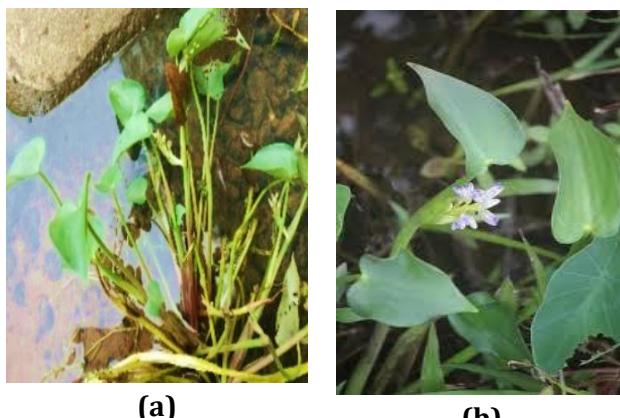
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Caryophyllales
Famili : Amaranthaceae
Genus : *Alternanthera* Forrsk
Spesies : *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.
(<https://www.itis.gov/>, 2025).

Alternanthera philoxeroides merupakan gulma aligator yang termasuk dalam famili Amaranthaceae. Tumbuhan ini dapat hidup di air maupun di tanah yang lembab (Soerjani et al., 1986). *Alternanthera philoxeroides* memiliki bentuk daun lonjong hingga bulat telur dengan pangkal meruncing dan tersusun berpasangan di sepanjang batang. Umumnya memiliki daun berwarna hijau tua, berlapis lilin, mengkilap, dan tidak bertangkai (tidak ada tangkai yang jelas menghubungkan daun ke batang). Ukuran daunnya bervariasi tergantung kebiasaan tumbuh dan kondisi lingkungan (Humane et al., 2015). *Alternanthera philoxeroides* memiliki bentuk batang berongga yang dapat mencapai 180 cm atau lebih panjang dan berwarna hijau tua, kuning hingga merah. Bunga biasanya aksiler, berwarna putih seperti bola kertas muncul pada tangkai. Setiap bunga berbentuk bola adalah perbungaan yang terdiri dari sejumlah bunga individu yang lebih kecil.

Alternanthera philoxeroides memiliki sistem akar yang menjalar dan berlapis membentuk anyaman rapat di atas permukaan air (Rane et al., 2015a). Sistem perakaran yang kuat dan luas merupakan sifat yang paling penting dan menonjol dari tanaman ini, menjadikannya tumbuhan yang berpotensi untuk

fitoremediasi (Rane et al., 2015b). Terbukti *Alternanthera philoxeroides* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengakumulasi Cd, Pb, dan Zn (Serefani et al., 2023). Dengan daya serapnya yang tinggi, tumbuhan ini berperan penting dalam mengurangi kontaminasi lingkungan akibat polutan berbahaya.

f. *Monochoria vaginalis* (Burm.f.) C. Presl



Gambar 4.6 Perawakan *Monochoria vaginalis*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: pwo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	:	Plantae
Divisi	:	Tracheophyta
Kelas	:	Liliopsida
Ordo	:	Commelinales
Famili	:	Pontederiaceae
Genus	:	Pontederia L.
Spesies	:	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm.f.) C. Presl (www.gbif.com , 2025)

Monochoria vaginalis atau yang dikenal dengan eceng padi merupakan tumbuhan gulma tahunan yang tumbuh di daerah rawa dan membentuk rumpun yang cukup besar, tetapi setiap individu terpisah dan tidak terhubung oleh stolon. Tinggi *Monochoria vaginalis* berkisar antara 5 sampai 50 cm, dengan batang tegak yang memiliki masing-masing memiliki daun di bagian ujungnya. Daun tanaman ini memiliki bentuk yang sangat bervariasi. Pada tumbuhan yang masih muda, daunnya tidak memiliki helaian (lamina) dan terendam di air. Daun yang lebih dewasa membentuk bulat telur hingga lonjong dengan pangkal yang tumpul berbentuk hati, lobus membulat dan ujung runcing. Bunga tumbuh pada tangkai dan bersifat biseksual, aktinomorfik (berbentuk simetris radial). Tangkai bunga memiliki panjang 4-25 (hingga 40) mm. Kelopak bunga (tepal) berwarna ungu kebiruan.

Tumbuhan air ini memiliki kemampuan dalam mengakumulasi kontaminan terutama zona akar yang secara unik cocok digunakan untuk menyaring tanaman dan cocok untuk membersihkan polutan organik dan anorganik (Ismail et al., 2024a). Sejalan dengan penelitian Ismail et al. (2024) terbukti bahwa *Monochoria vaginalis* memiliki efisiensi penghilangan untuk COD dan kromium. Selain itu, dapat penghilangan yang signifikan untuk tembaga, besi, timbal, dan seng.

g. *Ludwigia perennis* L.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Perawakan *Ludwigia perennis*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

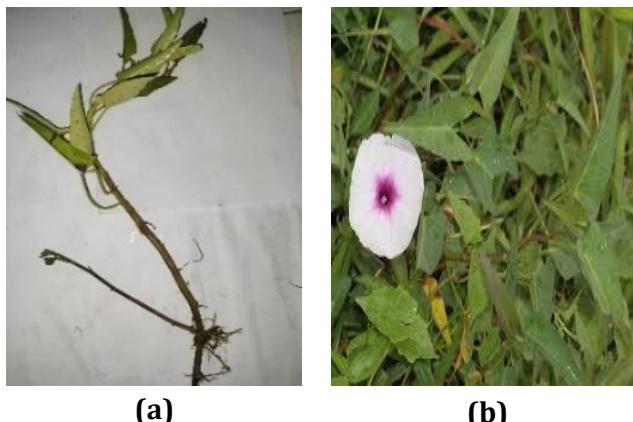
Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Myrales
Famili	: Ongraceae
Genus	: <i>Ludwigia</i> L.
Spesies	: <i>Ludwigia perennis</i> L. (www.gbif.com , 2025)

Ludwigia perennis L. merupakan gulma herba tahunan yang memiliki tinggi antara 10-75 cm. Batang berbentuk silindris, permukaan batang gundul, dan memiliki rongga. Bentuk daun bervariasi dari lonjong, lanset, hingga lanset linier, tulang daun menyirip. Bunga bersifat biseksual dan aktinomorfik (memiliki simetri radial). Bunga muncul di ketiak daun, baik secara soliter,

berkelompok dalam fasikel, maupun dalam rangkaian berbunga pendek (Barua dan Barua, 2010).

Tumbuhan ini dapat mengakumulasi kromium (Cr) pada tanah tercemar sebagaimana yang ditemukan dalam penelitian Sundaramoorthy et al. (2010). Kemampuannya ini menjadikan tanaman ini berpotensi sebagai agen fitoremediasi dalam upaya pemulihan lingkungan lingkungan yang tercemar logam berat.

h. *Ipomoea aquatica* Forssk.



Gambar 4.8 Perawakan *Ipomoea aquatica*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Famili	: Convolvulaceae
Genus	: Ipomoea L.

Spesies : *Ipomoea aquatica* Forssk. (<https://www.itis.gov/>, 2025)

Ipomoea aquatica atau yang lebih dikenal dengan kangkung merupakan tumbuhan yang mempunyai daya adaptasi yang cukup luas terhadap kondisi iklim dan tanah di daerah tropis, sehingga dapat ditanam di berbagai daerah (Hapsari et al., 2018). Tumbuhan ini memiliki bentuk akar tunggang berwarna putih kecokelatan, dengan akar adventif yang berkembang dari nodus. Batangnya herba, berongga, dan berwarna dari hijau hingga cokelat muda. Daun tunggal berbentuk lanset, meruncing pada ujungnya, tepi rata, berlekuk pada pangkal, dan memiliki tulang daun menyirip. Bunga majemuk tipe simosa yang muncul dari ketiak daun. Bunga tunggal bersifat hermaprodit dengan kelopak berwarna hijau dan mahkota bunga berwarna ungu keputihan berbentuk terompet.

Ipomoea aquatica merupakan tumbuhan yang dapat dibudidayakan dan dikonsumsi sebagai sayuran dan juga dimanfaatkan untuk fitoremediasi (Hanafiah et al., 2020). Beberapa penelitian telah melaporkan efektivitas kangkung dalam meremediasi berbagai jenis limbah logam berat Zn, Cu, maupun Pb (Nur et al., 2022).

i. *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl



(a)

(b)

Gambar 4.9 Perawakan *Fimbristylis miliacea*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: <i>Fimbristylis</i> Vahl
Spesies	: <i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl. (www.gbif.com , 2025)

Fimbristylis miliacea merupakan jenis tumbuhan herba, dengan perbungaan majemuk tak berbatas dan terletak di ujung batang (terminalis). Perbungaan berbentuk malai yang terdiri dari bulir-

bulir kecil berwarna cokelat dengan spikelet berbentuk bulat telur. Daun *Fimbristylis miliacea* berwarna hijau, berbentuk memanjang dengan tepi yang rata dan permukaan yang licin. Ujung daunnya runcing, dan pangkalnya rata.

Menurut Kadam et al. (2018) *Fimbristylis miliacea* memiliki potensi untuk digunakan dalam mengatasi pencemaran air. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Cantere et al. (2019) yang mengungkapkan bahwa *Fimbristylis miliacea* dapat mengakumulasi logam berat seperti kadmium, kromium, dan timbal telah dilakukan.

j. *Commelina diffusa* Burm f.



(a)



(b)

Gambar 4.10 Perawakan *Commelina diffusa*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom : Plantae

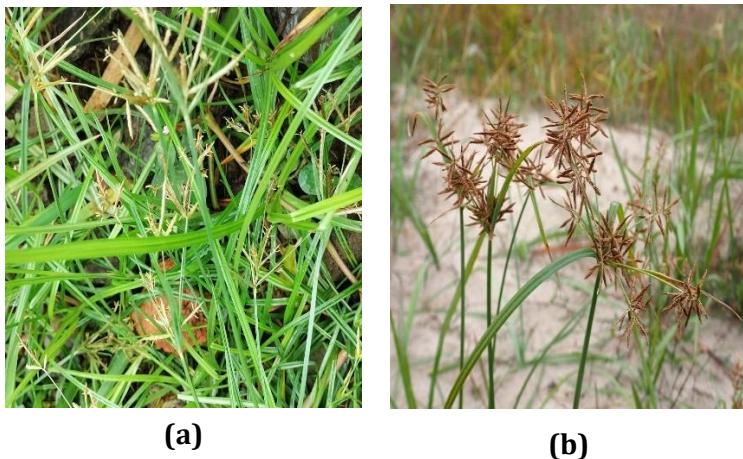
Divisi : Tracheophyta

Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Commelinales
Famili	: Commelinaceae
Genus	: Commelina L.
Spesies	: <i>Commelina diffusa</i> Burm f. (https://www.itis.gov/ , 2025)

Commelina diffusa atau dikenal dengan nama lokal aur-aur merupakan gulma tahunan atau menahun dengan batang menjalar yang merambat. Daunnya gundul, bentuknya lonjong hingga lanset, berwarna hijau cerah, dan panjangnya 2 hingga 5 cm dan lebar 0,5 hingga 2 cm. Struktur buahnya seperti kapsul bersel tiga yang panjangnya 4 hingga 5 mm. Masing-masing dari tiga kapsul berisi lima biji yang bergaris-garis retikulat, berwarna kecoklatan, dan berukuran panjang 2 hingga 3 mm. Bunga dengan tiga benang sari fertil dan dua benang sari steril bersifat aktinomorf, berwarna biru (Rahman et al., 2021).

Tumbuhan ini tumbuh cepat dan memiliki toleransi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan termasuk polusi (Napaldet dan Buot, 2019). Keberhasilan gulma tumbuh di lingkungan tersebut dapat dikaitkan dengan stolon atau rimpangnya yang memungkinkan mereka menjajah daerah yang terbuka dengan cepat. Selain itu, kondisi lembap dan banjir sesekali mendukung perakaran pada ruasnya sehingga mempercepat reproduksi aseksualnya.

k. *Cyperus rotundus* L.



(a)

(b)

Gambar 4.11 Perawakan *Cyperus rotundus*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: Cyperus L.
Spesies	: <i>Cyperus rotundus</i> L. (www.gbif.com , 2025).

Cyperus rotundus L. memiliki nama umum rumput teki yang merupakan salah satu gulma yang berasal dari famili Cyperaceae. Tumbuhan ini memiliki akar serabut yang tumbuh menyamping dengan membentuk umbi yang banyak, tiap umbi mempunyai mata tunas. Batangnya tegak, berbentuk tumpul atau segitiga. Daun berbentuk garis, mengelompok dekat pangkal batang, berwarna

hijau tua dan lurus, dengan permukaan atas beralur, dan tidak memiliki ligula. Perbungaannya biasanya memiliki 2–4 bracts, yang terdiri dari bunga kecil berwarna merah tua hingga ungu kecokelatan, dengan tiga benang sari dan tiga putik putik yang menempel pada batang tegak, tidak bercabang, berbentuk segitiga, berpotongan melintang, berwarna hijau tua, dan gundul (Peerzada, 2017).

Cyperus rotundus memiliki kapasitas tinggi untuk bertahan dalam kondisi yang ekstrem, memiliki pertumbuhan yang cepat serta mampu menghasilkan biomassa dalam jumlah besar (Ariyachandra et al., 2023). Oleh karena itu *Cyperus rotundus* menunjukkan potensi yang signifikan dalam konsentrasi dan akumulasi logam berat, menjadikannya tanaman yang berpotensi dalam fitoremediasi lingkungan.

l. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms



(a)



(b)

Gambar 4.12 Perawakan *Eichhornia crassipes*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

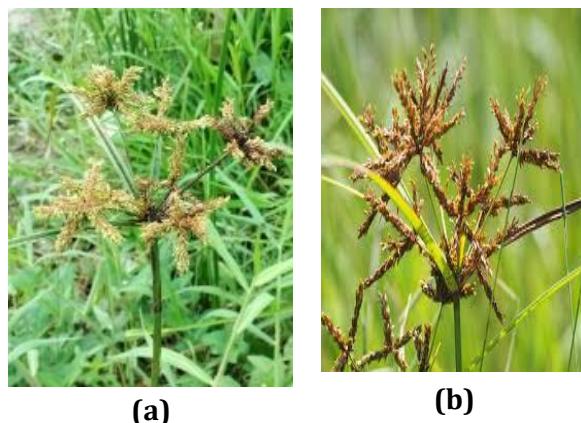
Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Commelinales
Famili	: Pontederiaceae
Genus	: Pontederia L.
Spesies	: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms (www.gbif.com , 2025).

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms atau dikenal dengan nama lokal eceng gondok merupakan gulma yang ditemukan mengapung di perairan dangkal (Maulidyna et al., 2021). Perakarannya memiliki stolon aksiler yang memungkinkan terbentuknya tumbuhan baru di ujungnya, yang mudah terlepas. Daun tumbuhan ini tersusun dalam bentuk roset, tebal, hijau mengkilab, bulat telur lebar pangkal membulat dengan ujung yang tumpul. Petiolnya berbentuk empuk, pada tumbuhan muda pendek dan seperti kantung, sedangkan pada daun dewasa petiolnya panjang dan secara bertahap menyempit ke atas. Bunga tumbuhan ini bersifat zygomorfik (memiliki satu bidang simetri), biseksual.

Meskipun eceng gondok dianggap sebagai salah satu tumbuhan yang paling bermasalah, seperti yang dilaporkan oleh banyak penelitian, karena pertumbuhannya yang cepat dan tidak terkendali dalam sistem perairan, kemampuannya untuk menyerap nutrisi dalam jumlah yang cukup telah memberikan wawasan baru tentang perannya dalam fitoremediasi. Tumbuhan

ini memiliki penyebaran yang luas dan memiliki kemampuan untuk tumbuh di lingkungan yang sangat tercemar dan secara berturut-turut mengekstraksi polutan. Selain itu, tumbuhan ini memiliki tingkat penyerapan yang tinggi terhadap berbagai kontaminan organik dan anorganik, dapat mentoleransi lingkungan yang sangat tercemar dan memiliki tingkat produksi biomassa yang sangat besar (Ali et al., 2020).

m. *Cyperus imbricatus* Retz.



Gambar 4.13 Perawakan *Cyperus imbricatus*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: Cyperus L.

Spesies : *Cyperus imbricatus* Retz. (<https://www.itis.gov/>, 2025)

Cyperus imbricatus merupakan Gulma tahunan yang termasuk golongan teki-tekian yang memiliki perakaran serabut. Tingginya sekitar 50-150cm dengan akar rimpang yang sangat pendek. *Cyperus imbricatus* memiliki batang berbentuk segitiga dan tumbuh batang tegak lurus. Daunnya linear berwarna hijau tua, ujung runcing, berwarna hijau pucat di bagian bawah, tepi daunnya kasar dan berbulu halus. Bunga *Cyperus imbricatus* merupakan bunga majemuk yang berbentuk tongkol berwarna hijau. Biji berbentuk segitiga, sedikit terkompresi secara lateral, berbentuk oval hingga elipsoid, berujung tajam, berwarna coklat kekuningan.

Tumbuhan ini merupakan tanaman tahunan yang tumbuh di berbagai jenis lingkungan. Dengan daya tahan tinggi terhadap kondisi ekstrem, tumbuhan ini mampu meningkatkan kualitas air. Penelitian Marwa (2024) melaporkan bahwa *Cyperus imbricatus* digunakan dalam fitoremediasi karena kemampuannya menyerap dan menoleransi logam berat seperti Fe, Cu, dan Zn dari air limbah tambang yang sangat asam.

n. *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf



(a)

(b)

Gambar 4.14 Perawakan *Brachiaria mutica*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: identify.plantnet.org/id , 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: Urochloa P. Beauv
Spesies	: <i>Brachiaria mutica</i> (Forssk.) Stapf (www.gbif.com , 2025).

Brachiaria mutica merupakan jenis gulma tahunan yang tumbuh tegak atau merambat dari pangkalnya, dengan stolon mencapai 1-5meter dan memiliki akar serabut. Tinggi tanaman dapat mencapai 1-2meter. Batangnya berbentuk silindris, dengan batang yang lebih tua memiliki rongga tengah serta berbulu. Helaian daun memiliki bentuk garis atau lanset, berwarna hijau

muda, dengan pangkal runcing. Ligula daunnya kecil, berbentuk membran, bersilia panjang. Perbungaan berupa malai dengan spikelet elips berwarna hijau atau ungu, terletak pada tangkai. Spikelet di lengkapi dengan tangkai bunga putih panjang berbulu yang menggantung.

Brachiaria mutica merupakan salah satu tumbuhan yang digunakan untuk fitoremediasi karena memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya efektif dalam menghilangkan polutan dari lingkungan (Kassaye et al., 2017). Tumbuhan ini memiliki sistem akar serabut yang luas, yang membantu menciptakan habitat bagi mikroba rizosfer yang berperan dalam degradasi polutan (Anwar-ul-Haq et al., 2022). Spesies ini juga terbukti mampu mengurangi kadar COD, total nitrogen, dan total fosfor (Thi Thanh Ho et al., 2018).

o. *Alternanthera sessilis* (L.) DC.



(a)



(b)

Gambar 4.15 Perawakan *Alternanthera sessilis*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

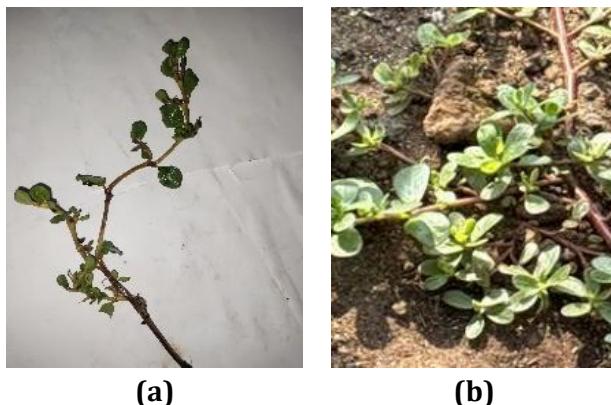
Kingdom : Plantae
Divisi : Tracheophyta
Ordo : Caryophyllales
Famili : Amaranthaceae
Genus : *Alternanthera* Forrsk
Spesies : *Alternanthera sessilis* (L.) DC.
(<https://www.itis.gov/>, 2025).

Alternanthera sessilis yang dikenal kremah, merupakan tumbuhan yang memiliki banyak tangkai dan mampu mencapai tinggi 1 m. Tumbuhan ini memiliki kemampuan tumbuh dengan cara merambat atau mengapung di lingkungan perairan. Sistem perakarannya berupa akar tunggang dengan warna putih kecoklatan. Batangnya berbentuk bulat dengan permukaan berbonggol dan beruas-ruas, berwarna hijau kekuningan. Daunnya bersifat majemuk dan tersusun berhadapan, dengan ujung serta pangkal yang meruncing. Warna daun didominasi hijau (Cahya Putri Rifiah et al., 2023). Tulang daun *Alternanthera sessilis* berbentuk menyirip. Bunganya tersusun secara majemuk dalam bentuk bulir, biasanya muncul di ketiak daun pada ujung batang. Bunganya memiliki tangkai berbentuk silindris dengan warna bervariasi antara putih hingga keunguan.

Tumbuhan ini memiliki ketahanan yang tinggi, kemampuan adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat sehingga memiliki potensi fitoremediasi (Matsodoum Nguemté et al., 2018). Hal ini terbukti

dalam penelitian Mazumdar dan Das (2021a) bahwa *Alternanthera sessilis* efektif fitoremediasi tanah yang mengandung logam berat imbal (Pb), kromium (Cr), tembaga (Cu), kadmium (Cd), nikel (Ni), seng (Zn), mangan (Mn), dan besi (Fe).

p. *Portulaca oleracea* L.



Gambar 4.16 Perawakan *Portulaca oleracea*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com , 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Caryophyllales
Famili	: Portulacaceae
Genus	: Portulaca L.
Spesies	: <i>Portulaca oleracea</i> L. (https://www.itis.gov/ , 2025)

Portulaca oleracea merupakan gulma herba tahunan, yang memiliki daya adaptasi tinggi dan tumbuh mudah di berbagai kondisi lingkungan, oleh karena itu termasuk tumbuhan halofit

(Yousefi et al., 2023a). Batangnya berbentuk silinder, berwarna merah keunguan jika tumbuh di tanah yang kurang subur. Daunnya tersusun secara heliks atau hampir berlawanan, berbentuk bulat telur hingga spatula, berdaging, dengan tangkai daun pendek, berwarna hijau, seringkali dengan sedikit warna ungu, dengan pangkal daun yang tumpul atau menyempit, dan ujung daun yang membulat atau sedikit terpotong. Daun bagian atas membentuk semacam kelopak di sekitar bunga. Bunga memiliki simetri aktinomorfik, hampir tidak bertangkai dan dikelilingi oleh daun selubung membran dan bulu kecil. Buahnya berbentuk seperti bola atau telur, berwarna kuning pucat, mengkilap, dan memiliki dinding tipis. Bijinya sangat banyak, berbentuk bulat atau setengah bulan, pipih, mengkilap hitam, dengan permukaan yang sedikit berbintik-bintik halus. Tanaman ini juga memiliki endosperm dalam bijinya.

Dengan karakteristik *Portulaca oleracea* yang toleran terhadap kondisi lingkungan, tanaman ini banyak dimanfaatkan untuk fitoremediasi. Salah satunya buktinya adalah hasil penelitian (Yousefi et al., 2023b) terbukti mampu menurunkan logam Cd dari air yang telah tekontaminasi. Selain itu digunakan sebagai bioakumulator logam berat, Arsenik, Kadmium, Timbal dan Tembaga (Negi, 2018).

q. *Cyperus iria* L.



(a)

(b)

Gambar 4.17 Perawakan *Cyperus iria*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: Cyperus L.
Spesies	: <i>Cyperus iria</i> L. (https://www.itis.gov/ , 2025)

Cyperus iria merupakan gulma tahunan dengan akar serabut berwarna kuning kemerahan. Batangnya tumbuh berkelompok, segitiga tajam, halus, tingginya sekitar 5-80 cm dan diameter 1-3 mm. Daunnya basal, linear, datar atau beralur, ujung meruncing panjang 5-15 mm dan lebar 3-6 mm. Pelepahnya berwarna kemerahan atau coklat keunguan. Perbungaan bisa sederhana atau majemuk, yang terdiri dari banyak spikelet pipih yang tegak dan menyebar. Biji berbentuk obovoid-ellipsoid, berwarna coklat gelap hingga hitam mengkilap, dengan ukuran 1-1,5 x 0,5-0,8 mm.

Tumbuhan ini memiliki akar serabut dan sistem perakaran yang luas, sehingga memiliki kemampuan optimal dalam menyerap logam berat dari lingkungan yang tercemar. Kemampuannya ini menjadikannya salah satu tanaman yang efektif dalam fitoremediasi, sebagaimana dibuktikan dalam penelitian *Amadi et al. (2022a)* yang menunjukkan bahwa *Cyperus iria* mampu mengakumulasi logam berat Zn dari tanah yang tercemar. Selain itu tanaman ini memiliki faktor translokasi dan biokonsentrasi yang tinggi, yang memperkuat kemampuannya dalam menyerap dan memindahkan logam berat dari akar ke bagian lain tanaman, sehingga menjadi solusi potensial dalam upaya pemulihan lingkungan.

r. *Cyperus pumilus* L.



(a)

(b)

Gambar 4.18 Perawakan *Cyperus pumilus*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)
Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Cyperaceae
Genus	: Cyperus L.
Spesies	: <i>Cyperus pumilus</i> L. (www.gbif.com , 2025)

Cyperus pumilus merupakan gulma tahunan yang cenderung merumpun dengan akar serabut berwarna kekuningan, tinggi 1-25cm. Memiliki batang yang padat, memiliki tiga sudut tajam, halus. Daunnya sedikit kaku, berbentuk saluran, memanjang lancip. Bagian tepi daunnya kasar. Perbungaan muncul di ujung batang, terdiri dari 4-30 spikelet yang terletak dalam spike pendek dan rapat. Daun pelindung perbungaan (bract) berbentuk seperti daun, 3-5 buah, terentang, dan lebih panjang dari perbungaan, panjangnya 2,5-15 mm. Spikelet terletak langsung pada batang, terkompresi kuat, dengan 8-40 bunga, panjang 4-10 mm dan lebar 1,5-3 mm. Glume (kelopak bunga) berbentuk ovate, berukuran 1-1,8 x 1-1,3 mm. Biji berbentuk biconvex, berwarna coklat mengkilap.

Tumbuhan ini termasuk dalam famili Cyperaceae, yang dikenal memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, termasuk tanah yang terkontaminasi oleh limbah industri dan pertanian. Meskipun penelitian spesifik mengenai tanaman ini masih terbatas, studi tentang famili cyperaceae menunjukkan bahwa tumbuhan ini memiliki kapasitas remediasi.

Salah satu spesies yang telah diteliti adalah *Cyperus rotundus*, yang terbukti mampu melakukan fitoekstraksi terhadap merkuri (Titahena et al., 2023), serta mengurangi kadar BOD pada limbah cair industri (Riyandini et al., 2023).

s. *Leptochloa chinensis* (L.) Nees



(a)



(b)

Gambar 4.19 Perawakan *Leptochloa chinensis*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: <i>Leptochloa</i> P. Beauv
Spesies	: <i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees www.gbif.com , 2025)

Leptochloa chinensis merupakan tumbuhan tahunan yang tingginya antara 10 hingga 120 cm, berakar serabut. Batangnya halus, berongga, dan tidak berbulu. Daunnya halus, linear, ligula berbentuk membran sepanjang 1-2 mm. Perbungaan berbentuk malai berbentuk oval yang terdiri dari dua baris spikelet, spikelet sepanjang 2-3,2 mm, berwarna ungu atau hijau dan berbunga 4-6.

Gulma ini menyebar dengan cepat karena kapasitas produksi benihnya yang sangat besar. Memiliki Kemampuan untuk bertahan hidup di kondisi tergenang air serta kondisi kering dan lembab menjadi gulma yang berpotensi sebagai fitoremediasi (Sekhar et al., 2020). Terbukti dalam penelitian Sekhar et al. (2020) yang menunjukkan bahwa *Leptochloa chinensis* memiliki kemampuan beradaptasi di kondisi alkali dan membantu menstabilkan pH dan meningkatkan kualitas tanah yang tercemar.

- t. *Eleusine indica* (L.) Gaertn.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Perawakan *Eleusine indica*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	:	Plantae
Divisi	:	Tracheophyta
Kelas	:	Liliopsida
Ordo	:	Poales
Famili	:	Poaceae
Genus	:	Eleusine Gaertn
Spesies	:	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. Nees (www.gbif.com , 2025)

Eleusine indica adalah rumput tahunan yang sangat berserat, berakar yang berasal dari famili Poaceae. Batangnya tegak atau sedikit naik, dengan tinggi sekitar 50-60 cm, dan sering terletak rata di tanah. Batangnya datar, memiliki garis-garis panjang, licin, mengilap, dan sering bercabang. Batang yang sudah tua terasa sangat keras. Daunnya tersusun bersilang, dengan seludang daun yang terdesak kuat, memiliki tulang daun yang jelas, dan di sepanjang tepinya terdapat rambut-rambut halus yang panjang. Seludang daun bagian bawah lebar dan berwarna pucat, sementara helaihan daun berbentuk panjang dan meruncing sedikit di ujung. Tepi daun kasar dan di bagian pangkalnya terdapat beberapa rambut panjang tipis. Bunga tanaman ini terdiri dari banyak spikelet. Bijinya berbentuk elipsoid, dengan panjang 1,2–1,5 mm, dengan perikarp yang mudah terlepas, berwarna coklat kemerahan dengan garis melintang bergelombang.

Eleusine indica dikenal sebagai agen fitoremediasi yang efisien karena kemampuannya menyerap dan mengakumulasi logam berat. Efisiensi tanaman ini dalam fitoremediasi didukung oleh mekanisme fitoekstraksi, yaitu proses dimana tanaman menyerap logam berat dari tanah dan mengakumulasinya dalam jaringan tanaman, serta fitostabilisasi yang membantu mengurangi mobilitas logam berat di tanah, sehingga mencegah penyebaran kontaminasi lebih luas. *Eleusine indica* juga menunjukkan adaptasi yang baik terhadap lingkungan tercemar, seperti dalam penelitian Ikhajiagbe et al. (2022) yang menunjukkan bahwa tanaman ini tumbuh dengan baik di tanah yang tercemar logam berat dan mengakumulasi logam Pb di akar dan pucuk.

u. *Lindernia antipoda* (L.) Alston



(a)



(b)

Gambar 4.21 Perawakan *Lindernia antipoda*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)
Klasifikasi

Kingdom: Plantae

Divisi : Tracheophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Lamiales

Famili : Linderniaceae

Genus : Bonnaya link & otto

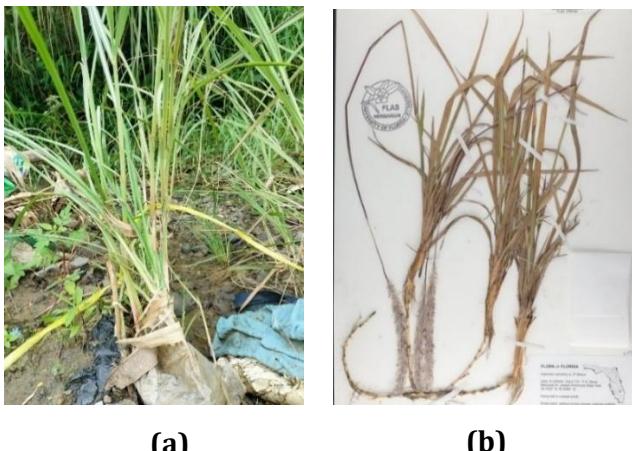
Spesies: *Lindernia antipoda* (L.) Alston (www.gbif.com, 2025).

Lindernia antipoda merupakan tumbuhan herba dengan batang tegak pendek, seringkali di lengkapi dengan cabang-cabang panjang yang menanjak pada ujungnya. Tinggi tanaman dapat mencapai 8 hingga 40 cm. Akar tanaman ini dangkal. Batangnya berbentuk segi empat tumput, lunak, memiliki rongga udara kecil. Daunnya tunggal, bagian atas hampir tidak bertangkai, berbentuk lonjong. Pangkal daunnya menipis, dengan ujung daun lancip hingga agak tumpul. Tepi daunnya bergrigi dan memiliki bulu halus di sepanjang tepinya. Bunga pada tanaman ini bersifat zygomorfik dengan posisi aksiler (terletak di ketiak daun). Kelopak bunga memiliki 5 lobus yang tegak, lancip dengan ujung melengkung dan bergrigi. Mahkota bunganya berbentuk tabung berwarna kekuningan di bagian pangkal dan ungu biru muda di bagian atas. Bijinya banyak dan sangat kecil, berbentuk elipsoid, permukaanya retikulat, kedua ujungnya tumpul.

Lindernia antipoda merupakan tumbuhan yang memiliki potensi besar dalam fitoremediasi, terutama dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat dari lingkungan yang tercemar.

Tumbuhan ini dikenal mampu bertahan di berbagai kondisi ekstrem, termasuk di tanah yang mengandung kadar merkuri (Hg) yang tinggi. Dalam penelitian yang dilakukan Pratiwi et al. (2016) terhadap spesies *Lindernia crustacea*, yang masih satu genus dengan *Lindernia antipoda*, ditemukan bahwa tumbuhan ini mampu mengakumulasi merkuri dari tanah yang tercemar limbah tambang emas.

v. *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch.



(a)

(b)

Gambar 4.22 Perawakan *Imperata cylindrica*
(a: Dokumen penelitian, 2024, b: (www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae

Genus : Imperata cirillo
Spesies : *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch
(<https://www.itis.gov/>, 2025).

Imperata cylindrica yang dikenal juga dengan alang-alang merupakan tanaman invasif, dengan penyebaran yang sangat luas. Tumbuhan ini memiliki rizoma bercabang yang tertanam dalam tanah (hingga 120 cm), berwarna putih, berair, dan memiliki ujung tajam berwarna merah. Batangnya padat, tegak dan biasanya berbulu. Helaian daun tegak, datar, berbentuk linear-lanset, menyempit secara bertahap ke bawah, dengan tepi bergerigi, berbulu halus di pangkal, ligulanya membranosa, panjangnya 1–8 mm. Spikelet terdiri dari satu bunga, tanpa duri.

Tumbuhan ini memiliki kemampuan adaptasi yang luar biasa serta tingkat berkembang biak yang sangat tinggi (Ratna et al., 2022). Alang-alang tergolong sebagai gulma yang tidak membutuhkan kondisi tumbuh yang rumit, sehingga dapat tumbuh baik pada tanah subur maupun tidak subur serta tidak memerlukan iklim tertentu, sehingga dapat tumbuh di daerah dengan iklim basah maupun kering (Ratna et al., 2022). Dengan daya adaptasi yang tinggi *Imperata cylindrica* memiliki peran ekologis yang signifikan dalam berbagai ekosistem. *Imperata cylindrica* memiliki kemampuan menyerap, mengakumulasi, dan menstabilkan logam berat di tanah (Anam Moktar & Tajuddin (2019) menunjukkan bahwa tanaman ini dapat menyerap Cadmium (Cd), dan (Pb) dari

lingkungan, membantu mengurangi dampak pencemaran dan meningkatkan kualitas tanah untuk pertumbuhan vegetasi lain.

w. *Ludwigia hyssopifolia* (G. Don) Exell



(a)

(b)

Gambar 4.23 Perawakan *Ludwigia hyssopifolia*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	:	Plantae
Divisi	:	Tracheophyta
Kelas	:	Magnoliopsida
Ordo	:	Myrales
Famili	:	Onagraceae
Genus	:	<i>Ludwigia</i> L.
Spesies	:	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell (https://www.itis.gov/ , 2025)

Ludwigia hyssopifolia merupakan tumbuhan herba yang dapat tumbuh hingga 15-150 cm. Batangnya tidak memiliki aerenkim, dan jaringan kasar terdapat di bawah epidermis. Pada bagian ujung batang terdapat garis, sementara di area rawa-rawa, batang sering

dikelilingi oleh pseudo-aerofor yang muncul dari akar horizontal yang tumbuh tepat di bawah permukaan lumpur. Daunnya pendek hingga agak panjang, utuh, tunggal, berurat seperti pena, tersebar, berbentuk lanset memanjang dengan ukuran 1-10 cm x 0,25-3,5 cm, kedua ujungnya runcing, sedangkan pangkalnya menurun, ketiak daun tidak memiliki akar. Bunga tanaman ini bersifat biseksual, aktinomorfik, soliter, tumbuh di ketiak daun dengan jumlah kelopak 4 (-5)-merous, dan hanya mekar selama satu hari. Di bagian pangkal kelopak, terdapat dua brakteol kecil yang gugur, menempel pada posisi yang berbeda.

Ludwigia hyssopifolia merupakan tumbuhan yang tumbuh di tempat-tempat basah di daerah tropis, biasanya di genangan air, persawahan, dan tepi sungai serta rawa, namun juga dapat tumbuh di sepanjang pinggir jalan yang basah dan di padang rumput yang lembab (Parker, 2025). *Ludwigia hyssopifolia* memiliki daya adaptasi yang baik dan mampu bertahan di lingkungan yang ekstrem, serta memiliki kemampuan mengakumulasi dan menyerap polutan. Oleh karena itu, tanaman ini sering digunakan untuk restorasi lingkungan yang terkontaminasi. Hal ini terbukti dalam penelitian Rahmatia et al. (2019) yang menunjukkan kemampuan *Ludwigia hyssopifolia* mengakumulasi logam logam Fe, Pb, dan Cd dalam jaringan tanaman. Selain itu, tanaman ini mampu mereduksi lebih dari 95% konsentrasi nitrat dan fosfat dalam air yang tercemar oleh pupuk NPK (Ivansyah et al., 2013).

x. *Eclipta prostrata* (L.) L.



(a)

(b)

Gambar 4.24 Perawakan *Eclipta prostrata*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: Eclipta L.
Spesies	: <i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. (www.gbif.com , 2025)

Eclipta prostrata atau urang-aring merupakan gulma yang termasuk ke dalam tanaman herba tahunan yang memiliki umur cukup pendek. Tumbuhan ini memiliki percabangan yang dapat tumbuh tegak sekitar 10 hingga 80 cm. Akar tumbuhan ini tumbuh pada buku pangkal batang, dan berjenis akar tunggang. Batangnya berbentuk silindris, berwarna hijau keunguan serta ditutupi oleh

bulu halus. Daun tanaman berhadapan, memiliki tangkai pendek, berbentuk lonjong, bulat telur, atau lanset. Daun tanaman ini biasanya bergrigi dengan tekstur sedikit kasar. Pangkal daun meruncing. Bunga tanaman memiliki berbentuk lonceng, biji tanaman berwarna coklat atau hitam, terkompresi, dengan panjang sekitar 2-3 mm.

Tumbuhan ini cenderung menyebar dan tumbuh dengan baik di kondisi tanah yang memiliki kelembaban cukup (Soerjani et al., 1986). Tumbuhan ini dikenal mampu bertahan di berbagai kondisi ekstrem, termasuk di tanah yang mengandung kadar timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang tinggi (Rahmadina et al., 2019). Kemampuan ini didukung oleh mekanisme fitoekstraksi, di mana akar tanaman menyerap polutan dari tanah dan air, serta fitostabilisasi, yang membantu mengurangi mobilitas logam berat sehingga tidak mudah berpindah ke ekosistem lain.

y. *Bambusa sp.*



(a)

(b)

Gambar 4.25 Perawakan *Bambusa sp.*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: Bambusa
Spesies	: <i>Bambusa</i> sp.

Bambu merupakan spesies rumput berkayu yang tumbuh cepat dan mampu menghasilkan produktivitas biomassa tinggi dalam rotasi pendek. Ada sekitar 116 genus dan 1439 spesies tanaman bambu di seluruh dunia, yang sebagian besar tersebar di daerah tropis dan subtropis, tetapi juga terdapat secara alami di daerah beriklim sedang di semua benua, kecuali Eropa dan

Antartika (Sharma et al., 2021). Bambu tumbuh dengan subur dan dapat mencapai ukuran maksimumnya dalam 120-150 hari, dan biasanya membutuhkan waktu 5 tahun bagi tunas untuk tumbuh menjadi batang dewasa.

Spesies bambu memiliki keunggulan tambahan dibandingkan banyak tanaman berkayu yang digunakan untuk memperbaiki tanah yang terkontaminasi logam berat, yaitu memiliki toleransi logam berat yang tinggi, kapasitas penyerapan yang cukup memiliki daya serap yang tinggi terhadap logam berat, dan mudah dibudidayakan (Sharma et al., 2021). Jaringan bambu memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar, terutama di sistem perakaran. Dalam ultrastrukturnya, logam berat terdistribusi di dinding sel, vakuola, dan sitoplasma.

z. *Echinochloa colona*



(a)

(b)

Gambar 4.26 Perawakan *Echinochloa colona*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: www.gbif.com, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: <i>Echinochloa</i> p. Beauv
Spesies	: <i>Echinochloa colona</i> (www.gbif.com , 2025)

Echinochloa colona merupakan gulma rumput yang tumbuh di habitat yang lembab atau basah (Peerzada et al., 2016). *Echinochloa colona* merupakan tanaman tahunan yang memiliki batang warna hijau atau ungu kemerahan, kokoh, tegak, dan dapat tumbuh menanjak atau terkulai. Batang ini sering kali bercabang sejak pangkalnya dan tidak memiliki bulu akar, kecuali pada bagian buku bagian bawah. Perbungaan *Echinochloa colona* berwarna hijau dengan semburat ungu, tegak, panjang 5-10 cm dengan rasemat yang sempit, menyebar, menanjak atau kadang bercabang yang menempel erat pada sumbu primer. Spikeletnya berwarna hijau atau ungu, berdesakan, panjang 2,5-3,5 mm, runcing dan tidak memiliki duri, biasanya tersusun dalam empat baris melingkar yang tidak beraturan.

Echinochloa colona merupakan salah satu tumbuhan yang potensial untuk fitoremediasi karena kemampuannya menyerap dan mengakumulasi polutan dari lingkungan. Tumbuhan ini memiliki tingkat bioakumulasi yang tinggi dan produksi biomassa yang optimal (Sultana et al., 2022). Penelitian oleh Sultana et al.

(2022) menunjukkan bahwa *Echinochloa colona* mampu menurunkan logam arsenik dari tanah yang tercemar. Selain itu, *Echinochloa colona* merupakan akumulator yang baik untuk tanah yang terkontaminasi seng (Zn) dan kromium (Cr) (Subhashini dan Swamy, 2016).

aa. *Mikania micrantha* Kunth



(a)



(b)

Gambar 4.27 Perawakan *Mikania micrantha*

(a: Dokumen penelitian, 2024, b: powo.science.kew.org/, 2025)

Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: Mikania wild
Spesies	: <i>Mikania micrantha</i> Kunth. (www.gbif.com , 2025)

Mikania micrantha merupakan gulma tahunan yang dikenal karena pertumbuhannya yang kuat dan merajalela yang berasal dari Amerika Selatan dan Tengah. Tumbuhan ini telah menyebar luas hingga ke wilayah tropis di Asia (QIAO et al., 2020). Tumbuhan ini merupakan tanaman merambat dengan panjang 3-6 meter. Batangnya ramping, dengan bagian muda yang berbulu halus, sedangkan pelepasan nodal (di simpul batang) tidak berbulu. Daun tanaman tersusun berhadapan, tepi daun bergrigi, berbentuk oval hingga segitiga-oval dengan pangkal daun yang agak dalam dan ujung daun yang meruncing dan memanjang.

Mikania micrantha merupakan gulma yang memiliki kemampuan penyebaran yang cepat, mampu beradaptasi di berbagai kondisi lingkungan, serta menunjukkan daya saing yang tinggi untuk memperoleh unsur hara dari lingkungan (Widiastuti et al., 2020). Selain itu, berdasarkan penelitian Leung et al. (2019) tumbuhan ini tahan terhadap dampak buruk kondisi lingkungan dan menghasilkan biomassa tunas yang besar dan sistem perakaran yang luas dengan hasil biomassa tunas yang besar dan menghasilkan biji yang melimpah dengan kemudahan budidaya sehingga berpotensi untuk fitoremediasi.

B. Tingkat Keanekaragaman Gulma Riparian di Sungai Kaligarang, Kota Semarang

1. Nilai Kerapatan, Frekuensi, Dominansi, dan Nilai Penting

Setelah dilakukan observasi dan identifikasi kemudian dilakukan pengukuran tingkat keanekaragaman gulma riparian di setiap stasiun pengamatan. Analisis vegetasi merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi jenis-jenis vegetasi, mulai dari yang paling dominan hingga tidak dominan. Menurut (Widiyani et al., 2022) analisis vegetasi memiliki peranan yang sangat krusial dalam menentukan tingkat dominansi gulma di suatu daerah. Hasil pengukuran nilai vegetasi gulma air disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Kerapatan, Frekuensi dan Nilai Penting di Stasiun Pengamatan

Stasiun	Spesies	Nama lokal	Kerapatan Mutlak (KM)	Kerapatan Relatif (KR)	Frekuensi Mutlak (FM)	Frekuensi Relatif (FR)	INP
I	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Ubi jalar hutan	1,5	5,1	0,5	9,4	14,5
	<i>Bidens pilosa</i> L.	Ketul	2,2	7,4	0,5	9,4	16,8
	<i>Cyperus brevifolius</i>	Jakut pendul	1,2	4,0	0,2	3,1	7,1

	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	Rumput payung	0,5	1,7	0,2	3,1	4,8
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	Kremah	2,3	8,0	0,2	3,1	11,1
	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	Cecabean	5,5	18,9	0,5	9,4	28,2
	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.	Kremah	4,8	16,6	0,7	12,5	29,1
	<i>Cyperus iria</i> L.	Jekeng	0,2	0,6	0,2	3,1	3,7
	<i>Echinochloa colona</i>	Rumput bebek	4,5	15,4	1,0	18,8	34,2
	<i>Commelina diffusa</i> Burm f.	Aur-aur	0,7	2,3	0,2	3,1	5,4
	<i>Cyperus pumilus</i> L.	Teki ladang	0,3	1,1	0,2	3,1	4,3
	<i>Eleusine indica</i>	Rumput belulang	0,3	1,1	0,2	3,1	4,3
	<i>Leptochloa chinensis</i>	Timunan	0,7	2,3	0,2	3,1	5,4
	<i>Mikanis Triloba</i>	Sambung rambat	3,3	11,4	0,7	12,5	23,9
	<i>Eclipta prostrata</i>	Urang-aring	1,2	4,0	0,2	3,1	7,1
Jumlah		29,17	100	5,3	100	200	

II	<i>Monochoria vaginalis</i>	Eceng padi	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5
	<i>Ludwigia perennis</i> L.	Cecabean	0,5	2,9	0,2	4,5	7,4
	<i>Bidens pilosa</i> L.	Ketul	0,5	2,9	0,2	4,5	7,4
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Kangkung	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5
	<i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl	Bebawangan	0,7	3,8	0,7	18,2	22,0
	<i>Commelina diffusa</i> Burm f.	Aur-aur	4,7	26,9	0,5	13,6	40,6
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Rumput teki	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5
	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	Cecabean	0,8	4,8	0,3	9,1	13,9
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv. Var	Alang-alang	1,0	5,8	0,3	9,1	14,9
	<i>Bambusa</i> sp.	Bambu	0,2	1,0	0,2	4,5	5,5

	<i>Lindernia antipoda</i>	Mata yuyu	0,7	3,8	0,5	13,6	17,5
	<i>Echinochloa colona</i>	Rumput bebek	7,3	42,3	0,3	9,1	51,4
Jumlah			17,3	100	3,7	100	200
III	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Eceng gondok	3,3	19,8	1,0	30,0	49,8
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Kangkung	2,7	15,8	1,0	30,0	45,8
	<i>Cyperus imbricatus</i> Retz.	Rumput sirap	1,7	9,9	0,2	5,0	14,9
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Rumput teki	0,8	5,0	0,2	5,0	10,0
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Kremah	1,7	9,9	0,2	5,0	14,9
	<i>Brachiaria mutica</i>	Tuton	6,2	36,6	0,7	20,0	56,6
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Krokot	0,5	3,0	0,2	5,0	8,0

Jumlah	16,8	100	3,3	100	200
--------	------	-----	-----	-----	-----

Hasil pengukuran tingkat keanekaragaman di DAS Kaligarang yang mencakup bagian hulu, tengah dan hilir seperti yang tercantum pada Tabel 4.2 menunjukkan adanya variasi nilai yang berbeda di setiap stasiun pengamatan. Berdasarkan hasil analisis kerapatan di stasiun 1, spesies dengan kerapatan relatif tertinggi adalah *Ludwigia hyssopifolia* sebesar 5,5%, sedangkan spesies dengan kerapatan relatif paling rendah di stasiun 1 adalah *Cyperus iria* dengan nilai 0,2%. Di stasiun 2, spesies dengan nilai kerapatan relatif tertinggi adalah *Echinochloa colona* sebesar 7,3%, sementara spesies dengan kerapatan relatif terendah adalah spesies *Bambusa sp.* dengan nilai 0,2%. Pada stasiun 3 nilai kerapatan tertinggi terdapat pada spesies *Brachiaria mutica* yaitu 6,2%, sedangkan kerapatan relatif paling rendah di stasiun 3 adalah spesies *Portulaca oleracea* yaitu 0,5%. Nilai kerapatan yang tinggi pada suatu spesies tergantung pada jumlah individu yang banyak. Tumbuhan dengan kerapatan tinggi cenderung tumbuh dan berkembang optimal karena kondisi lahan dan lingkungan. Nilai kerapatan yang rendah mengindikasikan bahwa jenis-jenis dari famili tersebut memiliki jumlah yang paling sedikit ditemukan dalam suatu area pengamatan (Rawana et al., 2023).

Berdasarkan hasil analisis nilai frekuensi tertinggi di stasiun 1 adalah *Echinochloa colona* sebesar 1%. Hal ini menunjukkan bahwa *Echinochloa colona* sering ditemukan di plot-plot pengamatan. Pada stasiun 2 nilai frekuensi tertinggi di stasiun

2 adalah *Fimbristylis miliacea*. Pada stasiun 3 nilai frekuensi tertinggi di stasiun 3 adalah *Eichhornia crassipes* dan *Ipomoea aquatica*. Nilai frekuensi menggambarkan keberadaan suatu jenis tumbuhan di daerah tertentu. Nilai frekuensi spesies dipengaruhi oleh densitas dan pola distribusinya (Alfiansyah Siregar et al., 2021). Spesies yang tersebar secara merata dalam suatu wilayah memiliki nilai frekuensi yang tinggi. Sedangkan spesies dengan nilai frekuensi yang rendah cenderung memiliki pola penyebaran yang tidak merata dan biasanya ditemukan di lokasi tertentu (Dahlianah, 2019). Oleh karena itu, tingginya nilai frekuensi pada *Echinochloa colona*, *Fimbristylis miliacea*, *Eichhornia crassipes* dan *Ipomoea aquatica* tinggi menandakan bahwa spesies ini banyak ditemukan dalam plot penelitian sehingga menjadikan spesies ini memiliki penyebaran paling luas diantara spesies lain yang terdapat pada lokasi penelitian.

Nilai kerapatan relatif, frekuensi relatif merupakan bagian paling utama untuk menentukan nilai indeks penting vegetasi gulma air. Indeks nilai penting (INP) berfungsi sebagai indikator untuk memahami seberapa besar kontribusi suatu spesies dalam komunitasnya. INP dihitung dari gabungan kerapatan relatif, frekuensi relatif. Semakin tinggi nilai INP, semakin besar peran spesies tersebut dalam komunitasnya. Sebaliknya, nilai INP yang rendah mencerminkan peran yang lebih kecil dari spesies tersebut (Rawana et al., 2023). Berdasarkan data

Tabel 4.2 pada stasiun 1 spesies gulma air yang mendapatkan indeks nilai penting tertinggi (INP) adalah *Echinochloa colona* sebesar 34,2%, sedangkan indeks nilai penting terendah yaitu pada spesies *Cyperus iria* sebesar 3,7%. Pada stasiun 2 *Echinochloa colona* memiliki indeks nilai penting tertinggi yang berjumlah 51,4%. Sedangkan spesies yang mendapatkan indeks nilai penting terendah yaitu *Bambusa* sp yang berjumlah 5,5%.

Echinochloa colona merupakan anggota famili poaceae, dikenal sebagai tumbuhan yang mudah beradaptasi di daerah perairan atau daerah yang memiliki kelembaban sampai dengan 80%. Selain itu gulma air ini tidak terpengaruh oleh pH tanah, tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan memungkinkan spesies ini mudah berkembang luas di berbagai ekosistem (Dahlianah, 2017).

Pada stasiun 3 *Brachiaria mutica* memiliki indeks nilai penting tertinggi yang berjumlah 56,4%. Sedangkan spesies yang mendapatkan indeks nilai penting terendah yaitu *Portulaca oleracea* yaitu 8,0%. Menurut Ullah et al. (2021) *Brachiaria mutica* merupakan spesies yang memiliki pertumbuhan yang cepat, menghasilkan biomassa yang tinggi, serta menunjukkan ketahanan terhadap genotoksisitas dan fitotoksisitas yang disebabkan oleh unsur logam.

2. Indeks Keanekaragaman Jenis (Shannon-Wiener)

Nilai indeks Indeks Keanekaragaman Jenis (Shannon-Wiener) H' vegetasi gulma riparian pada daerah hulu, tengah, dan hilir sungai Kaligarang Kota Semarang dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Indeks Keanekaragaman Gulma riparian Sungai Kaligarang

Lokasi pengamatan	Indeks Keanekaragaman (H')	Katagori
Stasiun 1	2,32	Sedang
Stasiun 2	1,75	Sedang
Stasiun 3	1,67	Sedang

Nilai indeks keanekaragaman jenis menggambarkan tingkat keanekaragaman jenis dalam suatu komunitas tumbuhan. Menurut Oktaviani et al (2016) indeks keanekaragaman spesies dikategorikan ke dalam tiga kelompok yaitu indeks keanekaragaman dengan nilai $H' < 1$, menunjukkan tingkat keanekaragaman yang rendah, sementara nilai indeks yang berada dalam rentang 1 sampai 3 ($1 < H' < 3$) berada dalam katagori sedang dan nilai indeks keanekaragaman $H' > 3$ maka wilayah tersebut memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan indeks keragaman jenis (Tabel 4.3) gulma riparian disetiap stasiun tersebut berada

dalam katagori sedang. Nilai keanekaragaman stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya yaitu 2,32. Selanjutnya keanekaragaman spesies gulma riparian di stasiun 2 tergolong sedang namun memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan stasiun 1 yaitu 1,75. Stasiun 3 memiliki nilai paling rendah yaitu 1,67, meskipun tetap masuk ke dalam katagori sedang. Semakin tinggi nilai indeks keanekaragaman semakin tinggi pula keanekaragamannya, produktivitas ekosistem dan kestabilan ekosistem di kawasan tersebut (Ismaini, 2015).

Berdasarkan hasil nilai keanekaragaman semakin kearah hilir tingkat keanekaragaman mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Wilayah perairan di Sungai Kaligarang memiliki perbedaan mencolok antara hulu dan hilir. Bagian hulu memiliki air yang jernih dengan dasar yang di dominasi oleh tanah berpasir, sedangkan bagian hilir memiliki air berwarna kuning keruh yang didominasi oleh tanah gambut di sekitar area tersebut. Pertumbuhan gulma riparian dan luas penyebarannya di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan tempat tumbuh. Selain itu, faktor kualitas air juga sangat mempengaruhi pertumbuhan suatu gulma. Menurut Kurniadie (2003), semakin baik kualitas air maka semakin banyak gulma tumbuh, namun semakin buruk kualitas air maka semakin sedikit gulma tumbuh. Sastroutomo (1990) menyatakan bahwa, kepekaan gulma air

untuk bertahan hidup berbeda-beda tergantung dengan kondisi kualitas suatu perairan.

Beberapa parameter lingkungan yang diukur di setiap lokasi penelitian (Tabel 4.4) antara lain yaitu Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), Suhu, pH, Kelembaban dan intensitas cahaya. Pengukuran parameter lingkungan dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan. Hasil pengukuran parameter lingkungan di sekitar daerah aliran Sungai Kalligarang Kota Semarang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Parameter lingkungan

No	Stasiun	Parameter Lingkungan					
		BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Suhu (°C)	pH Air	Kelembaban Tanah	Intensitas Cahaya (Cd)
1.	ST.1. A	0,45	8,14	28,8	6,90	29 °C	389
2.	ST.1.B	0,77	7,97	28,8	6,90		
3.	ST.2.A	1,10	7,74	29,0°	7.07	28 °C	666
4.	ST.2.B	1,70	7,71	29,0	7.07		
5.	ST.3.A	1,86	6,35	30,4	6,56	31 °C	1722
6.	ST.3.B	2,86	3,92	30,4	6,56		

Keterangan:

ST.1.A: (pengambilan sampel di stasiun 1 yang di tumbuhi oleh gulma);

ST.1.B: (pengambilan sampel di stasiun 1 yang tidak di tumbuhi oleh gulma);

- ST.2.A: (pengambilan sampel di stasiun 2 yang di tumbuhi oleh gulma);
- ST.2.B: (pengambilan sampel di stasiun 2 yang tidak di tumbuhi oleh gulma);
- ST.3.A: (pengambilan sampel di stasiun 3 yang di tumbuhi oleh gulma);
- ST.3.B: (pengambilan sampel di stasiun 3 yang tidak di tumbuhi oleh gulma).

Setiap stasiun memiliki nilai parameter lingkungan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengukuran BOD yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai BOD pada tiap stasiun berkisar antara 0,45 mg/l - 2,86 mg/l. Kisaran nilai tersebut belum melewati nilai ambang batas yang telah ditetapkan berdasarkan PP No. 22 tahun 2021 tentang 2021 tentang Penyelanggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup kelas I yang diperuntukkan untuk sumber baku air minum. Nilai BOD (Biochemical Oxygen Demand) yang tinggi menunjukkan kualitas air yang rendah. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroba pengurai untuk mendekomposisi bahan organik (Vikriansyah et al., 2024).

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi oksigen terlarut (DO) tiap stasiun pengamatan berkisar antara 3,92 - 8,14. Nilai konsentrasi DO tertinggi terdapat pada stasiun 1 yaitu 8,14. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tingginya nilai DO dipengaruhi oleh lokasi pengambilan sampel air yang terletak di sekitar wilayah yang di tumbuhi oleh gulma. Berdasarkan

penelitian Menurut Hanifah, (2024) Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya proses fotosintesis oleh tumbuhan air seperti fitoplankton yang menghasilkan oksigen dalam perairan. Berdasarkan PP No. 22 tahun 2021 tentang 2021 tentang Penyelanggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup hasil pengukuran konsentrasi oksigen terlarut (DO) melebihi standar baku mutu kualitas air kelas 1. Menurut Adithiya et al. (2023). oksigen terlarut sangat penting untuk respirasi, pertumbuhan, perkembangbiakan, proses metabolisme oleh seluruh jasad hidup akuatik, dan dekomposisi bahan organik diperairan. Alfatihah et al. (2022) juga menyatakan bahwa kadar oksigen terlarut semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya limbah organik diperairan.

Berdasarkan hasil pengukuran suhu di tiga lokasi penelitian berkisar antara 28,8°C - 30,4°C. Suhu paling tinggi di stasiun 3 yaitu 30,4°C, kemudian diikuti stasiun 2 yaitu 29,0°C, dan stasiun 1 yaitu 28,8°C. Suhu yang tinggi dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti cuaca. Intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam kolam air juga dapat menjadi penyebab utama terjadinya peningkatan suhu (Vikriansyah et al., 2024b). Suhu memiliki peran penting dalam ekosistem perairan. Tinggi rendahnya suhu merupakan salah satu faktor penting yang menentukan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan kelangsungan hidup tumbuhan. Suhu optimum tumbuhan untuk tumbuh

umumnya memiliki range 15-38°C dengan suhu udara maksimum 31-45°C dan suhu minimum 16- 21°C. Suhu optimal memungkinkan tumbuhan untuk berfungsi dengan efisien, sementara suhu ekstrem dapat menyebabkan stres dan mengganggu proses vital bahkan menyebabkan kematian (Hasanuddin, 2017).

Berdasarkan hasil pengukuran nilai pH pada aliran sungai Kaligarang berkisar antara 7,07 sampai 6,56. Nilai pH tertinggi di stasiun 2 yaitu 7,07, kemudian diikuti stasiun 1 yaitu 6,9 dan stasiun 3 yaitu 6,56. Berdasarkan penelitian (Djoharam et al., 2018) pH yang cocok bagi organisme akuatik bervariasi tergantung pada jenis organismenya. Sebagian besar biota air sensitif terhadap perubahan pH dan lebih memilih tingkat pH sekitar 7-7,5. pH 6-6,5 dapat mengurangi keanekaragaman organisme yang ada di dalamnya. menyebutkan bahwa pH mempengaruhi toksitas senyawa kimia dan sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH. Berdasarkan PP No. 22 tahun 2021 tentang Penyelanggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kualitas air Sungai Kaligarang masih dalam kondisi layak untuk pertumbuhan organisme akuatik.

Kelembaban tanah juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi keragaman spesies gulma yang ada. Berdasarkan kelembaban tanah berada di kisaran 28 °C - 31 °C. kelembapan tanah yang normal dan baik untuk pertumbuhan tanaman

bervariasi tergantung pada jenis tanah dan sumber air serta kandungan nutrisi yang ada, umumnya berkisar antara 30-60% (Rani, 2022). Kelembaban tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang secara umum mencakup tingkat curah hujan, tipe tanah, laju evapotranspirasi, kedalaman tanah, jenis tanaman, dan umur tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut (Karyati dkk., 2018; Cahyaningprastiwi *et al.*, 2021).

Intensitas cahaya yang optimum dapat meningkatkan aktivitas produktivitas spesies tumbuhan sehingga keanekaragamannya juga cenderung meningkat karena intensitas cahaya diperlukan bagi tumbuhan untuk melakukan fotosintesis. Intensitas cahaya di lokasi pengamatan berkisar 389-1722 lux. Kondisi lokasi pengamatan yang terbuka memungkinkan cahaya matahari masuk secara optimal, sehingga memberikan intensitas cahaya yang cukup untuk tumbuh dan berkembang. Cahaya yang tersedia berperan penting dalam proses fotosintesis.

Keanekaragaman tumbuhan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang terbentuk. Persebarannya secara tidak langsung dipengaruhi interaksi antara vegetasi dan kondisi lingkungannya. Hal tersebut menentukan dominansi suatu spesies, serta adaptasinya.

C. Potensi Gulma Riparian Sebagai Fitoremediator

Gulma sebenarnya sangat bermanfaat bagi ekosistem perairan maupun daratan karena dengan adanya gulma dapat menetralisis

terjadinya pencemaran air dengan menyerap zat yang berbahaya tersebut (Nuraida, 2022). Sebagian besar tanaman yang ditemukan merupakan tanaman tahunan yang memiliki memiliki sistem akar yang luas, dan kemampuan untuk mentoleransi jumlah cemaran yang tinggi sehingga menurut kriteria tersebut tanaman tersebut dapat berpotensi untuk fitoremediasi (Replan et al., 2023).

Fitoremediasi memiliki potensi yang meningkat untuk menjadi cara yang efisien dan efektif dalam menghilangkan kontaminan organik dari lingkungan (Wang et al., 2016). Berdasarkan hasil tinjauan pustaka yang telah dilakukan, diketahui bahwa jenis gulma riparian yang berhasil di identifikasi telah di uji kemampuannya dalam meremediasi polutan yang ada lingkungan serta beberapa penelitian telah dilakukan percobaan di laboratorium. Dari spesies yang telah ditemukan tercatat bahwa spesies gulma air yang dimanfaatkan untuk fitoremediasi yaitu 25 spesies yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Potensi Gulma Riparian Sebagai Fitoremediasi

No	Nama Spesies	Nama lokal	Akumulasi Penyerapan Limbah
1.	<i>Bidens pilosa</i> L.	Ketul	<ul style="list-style-type: none"> • Mampu mengakumulasi uranium sebanyak 1538 mg/kg dari air limbah (Imran et al., 2019). • Menyerap Pb dari tanah yang tercemar (Salazar et al., 2021)
2.	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Jakut pendul	<ul style="list-style-type: none"> • Berpotensi sebagai rhizofilter untuk mengurangi parameter fisikokimia air limbah kota (Odinga et al., 2019).
3.	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	Rumput payung	<ul style="list-style-type: none"> • Efektif mengurangi konsentrasi Cr sebesar 99,3% dalam air limbah industri pengolah(Tadesse & Seyoum, 2015) • Berpotensi menghilangkan etanolamin pada (Dolphen & Thiravetyan, 2015)i (Dolphen & Thiravetyan, 2015).
4.	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	Kremah	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki mekanisme yang efisien untuk menoleransi toksisitas Cd (Yan et al., 2023), • Mampu menghilangkan warna limbah industri tekstil dengan pH bervariasi dalam waktu 96 jam, disertai

			<p>pengurangan signifikan pada nilai warna, permintaan oksigen kimia dan biologis, serta total padatan terlarut dan tersuspensi (Rane et al., 2015).</p>
5.	<i>Monochoria vaginalis</i>	Eceng padi	<ul style="list-style-type: none"> • Efektif mengakumulasi Cr dan Cu (Talukdar & Talukdar, 2015).. • Efektif dalam mengurangi BOD, COD, TSS, kekeruhan, dan konsentrasi logam berat seperti tembaga, kromium, besi, timbal, dan seng (Ismail et al., 2024a).
6.	<i>Ludwigia perennis</i> L.	Cecabean	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mengakumulasi kromium (Cr) pada tanah tercemar (Sundaramoorthy et al., 2010).
7.	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Kangkung	<ul style="list-style-type: none"> • Berpotensi menghilangkan logam berat seperti kadmium (Cd) dan timbal (Pb) dari tanah yang terkontaminasi (Saad et al., 2020). • Memiliki kemampuan untuk menghilangkan beberapa logam seperti Cd dan Cr serta nutrisi seperti N dan P dari air limbah dan mengurangi kebutuhan oksigen biologis (BOD), kebutuhan oksigen kimia (COD), total

			padatan tersuspensi (TSS) dan klorofil 'a'
8.	<i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl	Bebawangan	<ul style="list-style-type: none"> Berpotensi mengakumulasi kontaminasi logam Fe di area pertambangan (J. Wang et al., 2020).
9.	<i>Commelina diffusa</i> Burm f.	Aur-aur	<ul style="list-style-type: none"> Berpotensi sebagai hiperakumulator seng (Zn) (Carmona-Chit et al., 2016).
10.	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Rumput teki	<ul style="list-style-type: none"> Bahan biokompatibel untuk menghilangkan kontaminasi logam berat termasuk As, Cd, Pb, dan Zn (Nafea & Šera, 2020) Bemiliki potensi meremediasi logam Zn, Cd, Ni dan Pb (Garba et al., 2018).
11.	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Eceng gondok	<ul style="list-style-type: none"> Mengakumulasi cemaran logam berat Cd, Pb, Ni, dalam air Drainase Kithener (Eid et al., 2020) Akumulator arsenik (As) dari air limbah tercemar (Kaur et al., 2018)
12.	<i>Cyperus imbricatus</i> Retz.	Rumput	<ul style="list-style-type: none"> Efektif mengakumulasi 50 mg/kg seng di akarnya dan 201 mg/kg di daunnya dari air limbah industri pertambangan tercemar (Marwa, 2024b).
13.	<i>Brachiaria mutica</i>	Tuton	<ul style="list-style-type: none"> Toleransi yang tinggi terhadap stres yang disebabkan oleh logam

			<p>berat Cd dan Pb (Ullah et al., 2020).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efektifitas pengolahan limbah mengurangi polutan COD, total nitrogen, dan total fodfor, pada debit aliran optimal $0,25 \text{ m}^3/\text{jam}$, sehingga mendukung keberlanjutan fungsi kolam stabilisasi (Thi Thanh Ho et al., 2018).
14.	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.	Kremah	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi penghilangan total hidrokarbon minyak bumi Pada tanah yang tercemar bahan bakar minyak (Nguemté et al., 2018). • Efisiensi penghilangan lebih dari 50% untuk logam berat seperti timbal (Pb), kromium (Cr), dan tembaga (Cu). Selain itu, penghilangan logam lain seperti kadmium (Cd), nikel (Ni), seng (Zn), mangan (Mn), dan besi (Fe) mencapai kisaran sekitar 25-48% (Mazumdar & Das, 2021) .
15.	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Krokot	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki potensi untuk fitoekstraksi dan fitostabilisasi ion Mn(II), Cu(II), Zn(II), Fe(III) dan Pb(II) limbah industri di distrik Dakahlia, Mesir (Elshamy et al., 2019).

			<ul style="list-style-type: none"> • Bioakumulator logam berat, Arsenik, Kadmium, Timbal dan Tembaga (Negi, 2018).
16. .	<i>Cyperus iria</i> L.	Jekeng	<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan toleransi tanaman terhadap paparan cemaran logam berat (Amadi et al., 2022b).
17.	<i>Cyperus pumilus</i> L.	Teki ladang	<ul style="list-style-type: none"> • terbukti mampu melakukan fitoekstraksi terhadap merkuri (Titahena et al., 2023) • serta mengurangi kadar BOD pada limbah cair industri (Riyandini et al., 2023).
18.	<i>Leptochloa chinensis</i>	Timunan	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki toleransi terhadap tanah alkali dan menstabilkan kondisi pH dan meningkatkan kualitas tanah (Sekhar et al., 2020)
19.	<i>Eleusine indica</i>	Rumput belulang	<ul style="list-style-type: none"> • Efisien penyerapan untuk <i>Eleusine indica</i> di kedua pucuk dan akar untuk timbal nitrat adalah 0,016% dan 0,8%, timbal sulfat 0,016% dan 0,352%, timbal karbonat 0,064% dan 0,496%, timbal asetetrahidrat 0,032% dan 0,688%, dan timbal klorida masing-masing 0,08% dan 0,72%, (Ikhajiagbe et al., 2022).

20.	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch.	Alang-alang	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki kemampuan menyerap 56,3% timbal dan 16,2% kadmium dari air (Anam Moktar & Tajuddin, 2019).
21.	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	Cecabean	<ul style="list-style-type: none"> • Mampu meningkatkan kualitas air yang tercemar residu pupuk (Ivansyah et al., 2013). • Memiliki kemampuan fitoekstrasi dari tanah tercemar logam Pb dan Cd (Davis et al., 2023).
22.	<i>Eclipta prostrata</i>	Urang aring	<ul style="list-style-type: none"> • Efektif menghilangkan dan mengakumulasi logam Fe sebanyak $(2251,24 \pm 64,74)$ dan metalloid dari limbah cair dan lumpur pabrik pulp dan kertas, (Sharma et al., 2021).
23.	<i>Bambusa sp.</i>	Bambu	<ul style="list-style-type: none"> • Biomassa batang bambu memiliki kapasitas biosorpsi yang efisien terhadap Pb (II) dan ion Cd (II) (Olayinka et al., 2020).
24.	<i>Echinochloa colona</i>	Rumput bebek	<ul style="list-style-type: none"> • Akumulator yang baik untuk tanah yang terkontaminasi seng (Zn) dan kromium (Cr) (Subhashini & Swamy, 2016).
25.	<i>Mikania micrantha</i>	Sembung rambat	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan konsentrasi logam berat yang signifikan pada tanah tercemar (Leung et al., 2019).

Penggunaan spesies gulma riparian yang memiliki potensi fitoremediasi sudah banyak digunakan, di tunjukkan pada Tabel 4.5. Setiap spesies gulma riparian memiliki peran spesifik dalam fitoremediasi, dengan mekanisme penyerapan kontaminan organik maupun anorganik yang bervariasi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik spesies tanaman dan kondisi lingkungan (Antoniadis et al., 2017b). Interaksi tanaman dengan lingkungan (udara, air, tanah) dan mikroorganisme memainkan peran penting dalam menghilangkan kontaminan.

Efektivitas pemulihan bergantung pada kontaminan, spesies tanaman, dan tanah. Biomassa dan metabolisme tanaman memainkan peran penting dalam efisiensi pemulihan, yang dipengaruhi oleh pH tanah, kondisi suhu, kandungan bahan organik, proses mikroba, dan jenis tanah (Guidi Nissim et al., 2018). Selain itu, diperlukan waktu yang lama untuk remediasi karena prosesnya bergantung pada kapasitas katabolisme tanaman dan kedalaman akar (Kristanti et al., 2023).

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai studi keanekaragaman gulma air yang Berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang Kota Semarang maka disimpulkan bahwa:

1. Terdapat 25 spesies Gulma riparian yang berpotensi sebagai fitoremediator di Sungai Kaligarang diantaranya *Bidens pilosa*, *Kyllinga brevifolia*, *Cyperus alternifolius*, *Alternanthera philoxeroides*, *Monochoria vaginalis*, *Ludwigia perennis*, *Ipomoea aquatica*, *Fimbristylis miliacea*, *Commelina diffusa*, *Cyperus rotundus*, *Eichhornia crassipes*, *Cyperus imbricatus*, *Brachiaria mutica*, *Alternanthera sessilis*, *Portulaca oleracea*, *Cyperus iria*, *Cyperus pumilus*, *Leptochloa chinensis*, *Eleusine indica*, *Imperata cylindrica*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Eclipta prostrata*, *Bambusa sp.*, *Echinochloa colona*, *Mikania micrantha*.
2. Tingkat keanekaragaman gulma riparian di Sungai Kaligarang tergolong sedang yaitu berkisar 1,67-2,32,

yang menunjukkan bahwa ekosistem sungai masih cukup mendukung keanekaragaman gulma air.

3. Gulma riparian yang memiliki kedudukan ekologis terpenting dalam ekosistem Sungai Kaligarang bervariasi pada setiap stasiunnya. Stasiun 1 dan 2 yang paling mendominasi 2 *Echinochloa colona* spesies yang paling berpengaruh secara ekologis, stasiun 3 yaitu *Brachiaria mutica* menjadi gulma dengan kedudukan ekologis terpenting. Keberagaman jenis gulma air yang dominan pada setiap stasiun menunjukkan adanya faktor lingkungan yang memengaruhi distribusi dan peran ekologis masing-masing spesies dalam ekosistem Sungai Kaligarang.

B. SARAN

1. Perlu dilakukan kajian lebih mendalam mengenai mekanisme fitoremediasi oleh gulma riparian yang teridentifikasi, termasuk efektivitas dalam menyerap berbagai jenis polutan baik di laboratorium maupun di lapangan.
2. Perlu pemantauan keanekaragaman gulma riparian dan kualitas air di Sungai Kaliagarang Kota Semarang secara berkala untuk mengetahui perubahan komposisi vegetasi serta efektivitas potensi fitoremediasi.
3. Perlu adanya edukasi yang melibatkan pemerintah dan masyarakat dalam upaya konservasi dan pengelolaan

gulma riparian yang memiliki manfaat fitoremediasi, khususnya untuk masyarakat sekitar sungai Kaligarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adib Achmad, C., Dwi Lestari, Y., & Purnomo, E. (2024). Effectiveness of *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle as a phytoremediation agent in Kaligarang River raw water. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research J. Nat. Scien. & Math. Res*, 10(1), 106–113. <http://journal.walisongo.ac.id/index.php/jnsmr>
- Ahmad, H., & Adiningsih, R. (2019). Efektivitas Metode Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Kangkung Air dalam Menurunkan Kadar BOD dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Farmasetis*, 8(2), 31–38. <https://doi.org/10.32583/farmasetis.v8i2.599>
- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>
- Alfiansyah Siregar, D., Sitinjak, R. R., Afrianti, S., & Nur Ariyanti Agustina, dan. (2021). Analisis Vegetasi Gulma pada Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.) di Desa Salang Tungir, Namorambe, Deli Serdang (Analysis of Weed Vegetation on Palm Oil (*Elaeis quineensis* Jacq.) Plantations in Salang Tungir Village, Namorambe District, Deli Serdang Regenc). *Jurnal Bios Logos*, 11(2), 129–133. <https://doi.org/10.35799/jbl.v11i2.34674>
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I., Ünay, A., Abdel-Daim, M. M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., & Kalderis, D. (2020). Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12051927>

- Al-Thani, R. F., & Yasseen, B. T. (2020). Phytoremediation of polluted soils and waters by native Qatari plants: Future perspectives. In *Environmental Pollution* (Vol. 259). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113694>
- Amadi, N., Noble, A., Lebura, G. V., & Anike, W. A. (2022a). Amadi Noble, Gbosidom Victor Lebura, Worlu Adedoyin Anike. The Impact of Organic Amendment on the Anatomical Structure of Cyperus iria Linn and Echinochloa colona Link Expose to Heavy Metal Pollution. *Ecology and Evolutionary Biology*, 7(2), 18–22. <https://doi.org/10.11648/j.eeb.20220702.12>
- Amadi, N., Noble, A., Lebura, G. V., & Anike, W. A. (2022b). The Impact of Organic Amendment on the Anatomical Structure of Cyperus iria Linn and Echinochloa colona Link Expose to Heavy Metal Pollution. *Ecology and Evolutionary Biology*, 7(2), 18–22. <https://doi.org/10.11648/j.eeb.20220702.12>
- Amani, F., & Prawiroredjo, K. (2016). ALAT UKUR KUALITAS AIR MINUM DENGAN PARAMETER PH, SUHU, TINGKAT KEKERUHAN, DAN JUMLAH PADATAN TERLARUT. *JETri*.
- Anam Moktar, K., & Tajuddin, R. M. (2019). Phytoremediation of heavy metal from leachate using imperata cylindrica. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20192>
- Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (2020). Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. In *Egyptian Journal of Aquatic Research* (Vol. 46, Issue 4, pp. 371–376). National Institute of Oceanography and Fisheries. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>
- Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017a). Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation,

and phytoremediation—A review. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 171, pp. 621–645). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>

Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017b). Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 171, pp. 621–645). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>

Anwar-ul-Haq, M., Ibrahim, M., Yousaf, B., Al-Huqail, A. A., & Ali, H. M. (2022). Role of Bacterial Consortium and Synthetic Surfactants in Promoting the Phytoremediation of Crude Oil-Contaminated Soil Using *Brachiaria mutica*. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.874492>

Ardyansyah, D. (2021). *Seri Bentang Alam Indonesia: Sungai*. Kanak.

Ariyachandra, S., Alwis, Iustus S., & Wimalasiri, E. M. (2023). Phytoremediation Potential of Heavy Metals by *Cyperus rotundus*. *Reviews in Agricultural Science*. https://doi.org/https://doi.org/10.7831/ras.11.0_20

Arya, G. W., & Kusumah, G. (2017). *STATUS INDEKS PENCEMARAN PERAIRAN KAWASAN MANGROVE BERDASARKAN PENILAIAN FISIKA-KIMIA DI PESISIR KECAMATAN BREBES JAWA TENGAH*. 13(2), 171–180.

Astuti, L. P., & Indriatmoko, I. (2018). Kemampuan Beberapa Tumbuhan Air dalam Menurunkan Pencemaran Bahan Organik dan Fosfat untuk Memperbaiki Kualitas Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 183. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2063>

Bairwa, K., Kumar, R., & Jee Sharma, R. (2010). *An updated review on Bidens Pilosa*. <http://derpharmacchemica.com/archive.html> L.

- Baroroh, F., Handayanto, E., Irawanto, R., Tanah, J., Pertanian, F., Brawijaya, U., Veteran No, J., 65145, M., Konservasi, B., Kebun, T., & Purwodadi -Lipi, R. (2018). FITOREMEDIASI AIR TERCEMAR TEMBAGA (Cu) MENGGUANAKAN *Salvinia molesta* DAN *Pistia stratiotes* SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN *Brassica rapa* Phytoremediation of Copper (Cu) Contaminated Water Using *Salvinia molesta* and *Pistia stratiotes* and Its Effect on Growth of *Brassica rapa*. In *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* (Vol. 5). <http://jtsl.ub.ac.id>
- Barua, I., & Barua, I. C. (2010). The genus *Ludwigia* (Onagraceae) in India. In *Rheedia* (Vol. 20, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/286692622>
- Budumajji, U., & Solomon Raju, A. J. (2018). Pollination ecology of *Bidens pilosa* L. (Asteraceae). *Taiwania*, 63(2), 89–100. <https://doi.org/10.6165/tai.2018.63.89>
- Cahya Putri Rifiah, A., Julia Astasagita, S., Rony Irawanto, dan, Sains dan Teknologi, F., Maulana Malik Ibrahim Malang, U., & Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih -BRIN, P. (n.d.). *Seminar Nasional 2023 SEMSINA 2023 Sinergitas Era Digital 5.0 dalam Pembangunan*.
- Cantere, G. S., Luisa, M., Salingay, B., Trinidad, R. B., & Vedra, S. A. (2019). BIOREMEDIATION POTENTIAL OF COMMON RICEFIELD PLANTS AND ANIMAL SPECIES FOR HEAVY METALS: CADMIUM, CHROMIUM AND LEAD. In *Online) World Journal of Environmental Sciences & Development Research* (Vol. 2, Issue 1). Online. <http://wjesdr.com/>
- Carmona-Chit, E., Carrillo-Gonzàlez, R., Gonzàlez-Chàvez, M. del C. A., Vibrans, H., Yàñez-Espinosa, L., & Delgado-Alvarado, A. (2016). Riparian plants on mine runoff in Zimapán, Hidalgo, Mexico: Useful for phytoremediation? *International Journal of Phytoremediation*, 18(9), 861–868. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1156639>

- Dahlianah, I. (2017). KOMPOSISI DAN STRUKTUR GULMA PADI DI LAHAN PASANG SURUT DESA MANGGARAYA KECAMATAN TANJUNG LAGO KABUPATEN BANYUASIN PROVINSI SUMATERA SELATAN. *Klorofil*.
- Dahlianah, I. (2019). ANALISIS VEGETASI GULMA DI PERTANAMAN JAGUNG (*Zea mays L.*) RAKYAT DAN HUBUNGANNYA DENGAN PENGENDALIAN GULMA DI DESA MANGGA RAYA KECAMATAN TANJUNG LAGO KABUPATEN BANY. *Klorofil*, 12–17.
- Dai, H., Wei, S., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Rusinowski, S., & Zhang, Q. (2021). The cadmium accumulation differences of two *Bidens pilosa* L. ecotypes from clean farmlands and the changes of some physiology and biochemistry indices. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111847>
- Das, M., & Dutta, A. (2025). Therapeutic Insights and Phytochemical Profile of *Kyllinga brevifolia* Rottb: A Review. In *Biomedical and Pharmacology Journal* (Vol. 18, Issue 1, pp. 401–409). Oriental Scientific Publishing Company. <https://doi.org/10.13005/bpj/3096>
- Davis, L. M. M., Hidayati, N., Firdaus, A. M., Talib, C., Rini, D. S., Juhaeti, T., Syarif, F., & Gunawan, I. (2023). Uptake and translocation of lead and cadmium in wild-found plant species from Bekasi and Karawang, West Java, for phytoremediation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012070>
- Diah, R., & Setyowati, N. (2015). STATUS KUALITAS AIR DAS CISANGGARUNG, JAWA BARAT.
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). ANALISIS KUALITAS AIR DAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN SUNGAI PESANGGRAHAN DI WILAYAH PROVINSI DKI JAKARTA. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and*

Environmental Management), 8(1), 127–133.
<https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.127-133>

Dolphen, R., & Thiravetyan, P. (2015). Phytodegradation of Ethanolamines by *Cyperus alternifolius*: Effect of Molecular Size. *International Journal of Phytoremediation*, 17(7), 686–692. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.964839>

Dou, X., Dai, H., Skuza, L., & Wei, S. (2019). *Bidens pilosa* L. hyperaccumulating Cd with different species in soil and the role of EDTA on the hyperaccumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(25), 25668–25675. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05831-6>

Dwi Rahmawati, S., Siwiendrayanti, A., Ilmu Kesehatan Masyarakat, J., Ilmu Keolahragaan, F., & Negeri Semarang, U. (2023a). 86 *HIGEIA* 7 (2) (2023) *HIGEIA JOURNAL OF PUBLIC HEALTH RESEARCH AND DEVELOPMENT* Analisis Parameter Kunci Kualitas Air Sungai Kaligarang Menggunakan Metode Water Pollution Index. <https://doi.org/10.15294/higeia/v7i2/64229>

Dwi Rahmawati, S., Siwiendrayanti, A., Ilmu Kesehatan Masyarakat, J., Ilmu Keolahragaan, F., & Negeri Semarang, U. (2023b). 86 *HIGEIA* 7 (2) (2023) *HIGEIA JOURNAL OF PUBLIC HEALTH RESEARCH AND DEVELOPMENT* Analisis Parameter Kunci Kualitas Air Sungai Kaligarang Menggunakan Metode Water Pollution Index. <https://doi.org/10.15294/higeia/v7i2/64229>

Eid, E. M., Galal, T. M., Sewelam, N. A., Talha, N. I., & Abdallah, S. M. (2020). Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as contamination indicators: a comparative assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 12138–12151. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9>

Elshamy, M. M., Heikal, Y. M., & Bonanomi, G. (2019). Phytoremediation efficiency of *Portulaca oleracea* L. naturally

- growing in some industrial sites, Dakahlia District, Egypt. *Chemosphere*, 225, 678–687. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.099>
- Farhan, A., Cintya Lauren, C., & Fuzain, N. A. (2023). Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia. In *Jurnal Hukum dan HAM Wara Sains* (Vol. 02, Issue 12).
- Fitria, S. N., Juswono, U., & Saroja, G. (2014). *Potensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) untuk mengurangi kadar logam berat (Pb dan Cu) serta Radionuklida dengan Metode Fitoremediasi*.
- Garba, S. T., Gudusu, M., & Inuwa, L. B. (2018). Accumulation Ability of the Native Grass Species, *Cyperus rotundus* for the Heavy Metals; Zinc (Zn), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) and Lead (Pb). *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2018/44604>
- Guidi Nissim, W., Palm, E., Mancuso, S., & Azzarello, E. (2018). Trace element phytoextraction from contaminated soil: a case study under Mediterranean climate. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 9114–9131. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1197-x>
- Halder, J., & Islam, N. (2015). Water Pollution and its Impact on the Human Health. *Journal of Environment and Human*, 2(1), 36–46. <https://doi.org/10.15764/EH.2015.01005>
- Hamuna, B., Tanjung, R. H., Maury, H. K., Alianto, dan, & Ilmu Kelautan dan Perikanan, J. (2018). *Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Perairan Distrik Depapre, Jayapura*. 16, 35–43. <https://doi.org/10.14710/jil.16.135-43>
- Hanafiah, M. M., Zainuddin, M. F., Nizam, N. U. M., Halim, A. A., & Rasool, A. (2020). Phytoremediation of aluminum and iron from industrial wastewater using *Ipomoea aquatica* and

- centella asiatica. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/app10093064>
- Hao, X., Li, T., Yu, H., Zhang, X., Zheng, Z., Chen, G., Zhang, S., Zhao, L., & Pu, Y. (2015). Cd accumulation and subcellular distribution in two ecotypes of Kyllinga brevifolia Rottb as affected by Cd treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 7461–7469. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4379-9>
- Hapsari, J. E., Amri, C., Suyanto, A., Lingkungan, J. K., Yogyakarta, K., & Tatabumi, J. (2018). Efektivitas Kangkung Air (Ipomoea aquatica) sebagai Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(4), 172–177. <http://journalsanitasi.keslingjogja.net/index.php/sanitasi>
- Hasan, R., Yuniarti, A., & Kasmiruddin, K. (2018). Keanekaragaman Liana di Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Kabupaten Bengkulu Tengah. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jstl.v4i1.70>
- Heddy, S. (2012). *Metode Analisis Vegetasi dan Komunitas*. Raja Grafindo Persada.
- Herlina, L., Widianarko, B., & Sunoko, H. R. (2020). PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF CORDYLINE FRUTICOSA FOR LEAD CONTAMINATED SOIL. *JPII*, 9(1), 42–49. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1>
- Hidayah, I., Studi Pendidikan Biologi, P., & Keguruan dan Ilmu Pendidikan, F. (2022). *Keanekaragaman Herba di Kawasan Mangrove Muara Aluh-Aluh*. 7(1). <https://doi.org/10.36722/sst.v%vi%.1090>
- Humane, P. T., Somkuwar, S. R., & Chaturvedi, A. (2015). Extending Habitat of an Exotic Aquatic Weed Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb. in Maharashtra, India. In *IJRBAT, Special Issue* (Issue 6).

- Ikhajiagbe, B., Ehiarinmwian, R. I., & Omoregie, G. O. (2022). Influence of different anionic charges on lead compounds in the remediation of lead by Eleusine indica (Gaertn). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 26(1), 121–129. <https://doi.org/10.4314/jasem.v26i1.19>
- Imran, M., Hu, S., Luo, X., Cao, Y., & Samo, N. (2019). Phytoremediation through Bidens pilosa L., a nonhazardous approach for uranium remediation of contaminated water. *International Journal of Phytoremediation*, 21(8), 752–759. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556594>
- Imron, I., Dermiyati, D., Sriyani, N., Yuwono, S. B., & Suroso, E. (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. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.51-60>
- Inyinbor Adejumoke, A., Adebesin Babatunde, O., Oluyori Abimbola, Adelani Akande Tabitha, A., Dada Adewumi, & Oreofe Toyin, A. (2018). Water Pollution: Effects, Prevention, and Climatic Impact. In *Water Challenges of an Urbanizing World*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72018>
- Irawanto, R., & Munandar Aris. (2017). Kemampuan tumbuhan akuatik Lemna minor dan Ceratophyllum demersum sebagai fitoremediator logam berat timbal (Pb). *PROS SEM NAS MASY BIODIV INDON*. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m030325>
- Ismail, F., Abd Razak, A. S., Mohd Termizi, A. Z.-A., Nasaruddin, M. A. S., & Sulaiman, S. (2024a). The Enhanced Phytoremediation of Domestic Wastewater Using Lepironia Articulata, Monochoria Vaginalis and Typha Angustifolia: Comparative Performance and Efficacy. *CONSTRUCTION*, 4(2), 244–254. <https://doi.org/10.15282/construction.v4i2.11016>

- Ismail, F., Abd Razak, A. S., Mohd Termizi, A. Z.-A., Nasaruddin, M. A. S., & Sulaiman, S. (2024b). The Enhanced Phytoremediation of Domestic Wastewater Using *Lepironia Articulata*, *Monochoria Vaginalis* and *Typha Angustifolia*: Comparative Performance and Efficacy. *CONSTRUCTION*, 4(2), 244–254. <https://doi.org/10.15282/construction.v4i2.11016>
- ISMAINI, L. (2015, September 1). *Analisis komposisi dan keanekaragaman tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan*. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010623>
- Ivansyah, K., Retnaningdyah, C., Ekologi, L., Hewan, D., Biologi, J., Matematika, F., & Pengetahuan, I. (2013). Potensi Hidromakrofita Lokal Untuk Peningkatan Kualitas Air Irigasi Tercemar Residu Pupuk NPK Dengan Sistem Batch Culture. In *Jurnal Biotropika / Edisi* (Vol. 1, Issue 3).
- Kadam, S. K., Chandanshive, V. V., Rane, N. R., Patil, S. M., Gholave, A. R., Khandare, R. V., Bhosale, A. R., Jeon, B. H., & Govindwar, S. P. (2018). Phytobeds with *Fimbristylis dichotoma* and *Ammannia baccifera* for treatment of real textile effluent: An in situ treatment, anatomical studies and toxicity evaluation. *Environmental Research*, 160, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.09.009>
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. In *Environmental Advances* (Vol. 8). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>
- Karyati, N., Rahman, M., & Zairina Yasmi. (2019). *EFEKTIFITAS BEBERAPA JENIS GULMA AIR TERHADAP PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT PADA AIR BEKAS GALIAN PASCA TAMBANG BATUBARA(VOID) THE EFFECTIVENESS OF SOME TYPES OF WATER WEEDS ON REDUCING HEAVY METAL LEVELS IN POST-COAL MINING EXCELLENT WATER (VOID)*.

- Kassaye, G., Gabbiye, N., & Alemu, A. (2017). Phytoremediation of chromium from tannery wastewater using local plant species. *Water Practice and Technology*, 12(4), 894–901. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.094>
- Kaur, P., Singh, S., Kumar, V., Singh, N., & Singh, J. (2018). Effect of rhizobacteria on arsenic uptake by macrophyte Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. *International Journal of Phytoremediation*, 20(2), 114–120. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337071>
- Khan, S., Masoodi, T. H., Pala, N. A., Murtaza, S., Mugloo, J. A., Sofi, P. A., Zaman, M. U., Kumar, R., & Kumar, A. (2023). Phytoremediation Prospects for Restoration of Contamination in the Natural Ecosystems. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15081498>
- Krebs, R. A., & Loeschke, V. (1994). Costs and Benefits of Activation of the Heat-Shock Response in *Drosophila melanogaster*. In *Source: Functional Ecology* (Vol. 8, Issue 6).
- Kristanti, R. A., Tirtalistyani, R., Tang, Y. Y., Thao, N. T. T., Kasongo, J., & Wijayanti, Y. (2023). Phytoremediation Mechanism for Emerging Pollutants : A Review. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*, 3(1), 88–108. <https://doi.org/10.53623/tasp.v3i1.222>
- Kumar, S., & Deswal, S. (2020). Phytoremediation capabilities of *Salvinia molesta*, water hyacinth, water lettuce, and duckweed to reduce phosphorus in rice mill wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 22(11), 1097–1109. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1731729>
- Kurniawati, L., Serang, O., Tanah, J., Pertanian, F., Brawijaya, U., Konservasi, B., Kebun, T., & Purwodadi, R. (2018). FITOREMEDIASI AIR TERCEMAR LOGAM KROMIUM DENGAN MENGGUNAKAN *Sagittaria lancifolia* DAN *Pistia stratiotes* SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN

- KANGKUNG DARAT Ipomea reptans. In *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* (Vol. 5). <http://jtsl.ub.ac.id>
- Kustomo. (2023). *Kimia Lingkungan Berbasis Unity of Science*. Fatawa Publishing.
- Leung, H. M., Yue, P. Y. K., Sze, S. C. W., Au, C. K., Cheung, K. C., Chan, K. L., Yung, K. L. K., & Li, W. C. (2019). The potential of Mikania micrantha (Chinese creeper) to hyperaccumulate heavy metals in soil contaminated by electronic waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(34), 35275–35280. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06771-x>
- Limmer, M., & Burken, J. (2016). Phytovolatilization of Organic Contaminants. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 50, Issue 13, pp. 6632–6643). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04113>
- Londhe, D. K., & Bhuktar, A. S. (2023). A new variety of Ipomoea triloba (Convolvulaceae) from Deccan plateau, India. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 30(1), 31–35. <https://doi.org/10.3329/bjpt.v30i1.67033>
- Madkar, O., & Kurniadie, D. (2003). *Identifikasi dan Pertumbuhan Berbagai Gulma Air sebagai Bahan Biofilter Penyaring Air Limbah*.
- Majid, A., Ajizah, A., & Amintarti, S. (2022). Keragaman Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Taman Biodiversitas Hutan Hujan Tropis Mandiangin. *JURNAL AI-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 7(2), 102. <https://doi.org/10.36722/sst.v7i2.1117>
- Malik, A., & Kusumarini, N. (2019). Identifikasi Jenis-Jenis Tumbuhan Sekitar Mata Air Tiga Rasa Sebagai Upaya Konservasi Air Di Gunung Muria Kudus. *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*, 2(1), 16. <https://doi.org/10.21580/ah.v2i1.4645>
- Marwa, A. (2024a). Phytoremediation potential of four wetland plants for the sustainable treatment of highly acid mine drainage water in Tanzania. In *International Journal of*

Marwa, A. (2024b). Phytoremediation potential of four wetland plants for the sustainable treatment of highly acid mine drainage water in Tanzania. In *International Journal of Development and Sustainability* (Vol. 13, Issue 6). www.isdsnet.com/ijds

Matsodoum Nguemté, P., Djumyom Wafo, G. V., Djocgoue, P. F., Kengne Noumsi, I. M., & Wanko Ngnien, A. (2018a). Potentialities of Six Plant Species on Phytoremediation Attempts of Fuel Oil-Contaminated Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(3). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3738-9>

Matsodoum Nguemté, P., Djumyom Wafo, G. V., Djocgoue, P. F., Kengne Noumsi, I. M., & Wanko Ngnien, A. (2018b). Potentialities of Six Plant Species on Phytoremediation Attempts of Fuel Oil-Contaminated Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(3). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3738-9>

MAULIDYNA, A., ALICIA, F., AGUSTIN, H. N., DEWI, I. R., NURHIDAYAH, I., DEWANGGA, A., KUSUMANINGRUM, L., NUGROHO, G. D., JUMARI, J., & SETYAWAN, A. D. (2021). Review: Economic impacts of the invasive species water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Case study of Rawapening Lake, Central Java, Indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 11(1). <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w110103>

Mazumdar, K., & Das, S. (2021a). Phytoremediation of soil treated with metalliferous leachate from an abandoned industrial site by *Alternanthera sessilis* and *Ipomoea aquatica*: Metal extraction and biochemical responses. *Ecological Engineering*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106349>

Mazumdar, K., & Das, S. (2021b). Phytoremediation of soil treated with metalliferous leachate from an abandoned industrial site

- by *Alternanthera sessilis* and *Ipomoea aquatica*: Metal extraction and biochemical responses. *Ecological Engineering*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106349>
- Midhat, L., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Ouhammou, A., & Mandi, L. (2019). Accumulation of heavy metals in metallophytes from three mining sites (Southern Centre Morocco) and evaluation of their phytoremediation potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.009>
- Mohanty, M., & Kumar Patra, H. (2020). Phytoassessment of in situ weed diversity for their chromium distribution pattern and accumulation indices of abundant weeds at South Kaliapani chromite mining area with their phytoremediation prospective. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110399>
- Mokodompit, R., Kondowangko, N., & Hamidun, M. (2022). saimanbiokipas,###default.groups.name.manager##,+9.+75-80.+Rizaldi+Mokodompit. *Biosfer*. <https://doi.org/https://doi.org/10.23969/biosfer.v7i1.5651>
- Mueller, D.-D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. the United States of America.
- Munthe, M. B., & Handayani, W. (2024). Kajian Perubahan Kondisi Ekologi Wilayah DAS Garang dan Aktivitas Penduduk yang Mempengaruhinya. *Jurnal Teknik PWK*, 13(1), 36–48. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pwk>
- Naharuddin. (2017). KOMPOSISI DAN STRUKTUR VEGETASI DALAM POTENSINYA SEBAGAI PARAMETER HIDROLOGI DAN EROSI. *Jurnal Hutan Tropis*, 5(2).
- Naillah, A., Yulia Budiarti, L., & Heriyani, F. (2021). *LITERATURE REVIEW: ANALISIS KUALITAS AIR SUNGAI DENGAN TINJAUAN PARAMETER pH, SUHU, BOD, COD, DO TERHADAP COLIFORM*.

- Napaldet, J. T., & Buot, I. E. (2019). Diversity of aquatic macrophytes in Balili river, La Trinidad, Benguet, Philippines as potential phytoremediators. *Biodiversitas*, 20(4), 1048–1054. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200416>
- Negi, S. (2018). Heavy metal accumulation in Portulaca oleracea Linn. ~ 2978 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3).
- Ningrum, S. O. (2018). ANALISIS KUALITAS BADAN AIR DAN KUALITAS AIR SUMUR DI SEKITAR PABRIK GULA REJO AGUNG BARU KOTA MADIUN.
- Novitasari, R., Ayu Widayastuti, D., Nurwahyunani, A., Studi Pendidikan Biologi, P., Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Teknologi Informasi, F., Kunci, K., & Domestik, L. (n.d.). *Kemampuan Tanaman Lotus (Nelumbo nucifera) dalam Menurunkan Kadar Fosfat pada Fitoremediasi Limbah Domestik Grey Water*.
- Nur, M., Nasir, M., Irfandi, R., Yani, A., Fauziah, S., Danur, R. F., Raya, I., & Fudholi, A. (2022). Phytoremediation of Zinc, Copper, and Lead Using Ipomoea Aquatica in Water Contaminants. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 17(5), 701–709. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170507>
- Nuraida, N. (2022). *Tumbuhan Gulma Air*. Diva Pustaka.
- Nuraida, N., & Susanti, T. (2019). Studi Pengetahuan Masyarakat Mengenai Gulma Air Sebagai Bioindikator Pencemaran Air Di Desa Lambur Luar Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Biology Science & Education*.
- Odinga, C. A., Kumar, A., Mthembu, M. S., Bux, F., & Swalaha, F. M. (2019). Rhizofiltration system consisting of Phragmites australis and Kyllinga nemoralis: Evaluation of efficient removal of metals and pathogenic microorganisms. *Desalination and Water Treatment*, 169, 120–132. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24428>

- Oktaviani, R., Yanuwiadi, B., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., & Brawijaya, U. (2016). Analisis Vegetasi Riparian di Tepi Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo. In *Jurnal Biotropika* / (Vol. 4, Issue 1).
- Olayinka, J. A., Tope, B. I., Olubunmi, O. O., & Omoniyi, M. S. (2020). Evaluation of kinetics and equilibrium studies of biosorption potentials of bamboo stem biomass for removal of Lead (II) and Cadmium (II) ions from aqueous solution. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 14(2), 24–41. <https://doi.org/10.5897/ajpac2019.0812>
- Pandia, S., Purba, E., Hasan, W., Doktor Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, M., Pengajar Fakultas Teknik Kimia, S., Pengajar Fakultas Pertanian, S., & Pengajar Fakultas Kesehatan Masyarakat, S. (2018). Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha Latifolia*, Enceng Gondok, Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat. *Serambi Engineering*, III.
- Parker, C. (2025). *Ludwigia hyssopifolia* (water primrose). CABI Compendium.
- Peerzada, A. M. (2017). Biology, agricultural impact, and management of *Cyperus rotundus* L.: the world's most tenacious weed. In *Acta Physiologiae Plantarum* (Vol. 39, Issue 12). Polish Academy of Sciences, Institute of Slavic Studies. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2574-7>
- Peerzada, A. M., Bajwa, A. A., Ali, H. H., & Chauhan, B. S. (2016). Biology, impact, and management of *Echinochloa colona* (L.) Link. In *Crop Protection* (Vol. 83, pp. 56–66). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.01.011>
- Pertiwi, K. D., & Lestari, I. P. (2022). KUALITAS MUTU PERAIRAN SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI KALIGARANG DESA GOGIK DITINJAU DARI PARAMATER NITRAT, BOD, COD DAN DO. In *Pro Health Jurnal Ilmiah Kesehatan* (Vol. 4, Issue 2).

Prakoso, bima. (2018). *Keanekaragaman dan Klasifikasi Makhluk Hidup*. Sentra Edukasi Media..

Pratiwi, R. S., Nuraini, Y., & Handayanto, E. (2016). PEMANFAATAN TUMBUHAN LIAR Lindernia crustacea DALAM FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MERKURI LIMBAH TAMBANG EMAS SKALA KECIL. In *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* (Vol. 3). <http://jtsl.ub.ac.id>

Purnomo, E., Febriyansah, A., Ainia, M., Setyaningrum, S., Juwarsyah, A., & Fatimah, N. (2023). *Quo Vadis Antara Industrialisasi Dan Kesehatan: Pemantauan Kualitas Perairan Menggunakan Indikator Biologi*. Alinea Media Dipantara.

QIAO, X., LI, Y. zhou, SU, G. yuan, TIAN, H. kun, ZHANG, S., SUN, Z. yu, YANG, L., WAN, F. hao, & QIAN, W. qiang. (2020). MmNet: Identifying Mikania micrantha Kunth in the wild via a deep Convolutional Neural Network. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(5), 1292–1300. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62829-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62829-7)

Rahim, M. A. M. A. (2023). *Tenologi Pengendalian Gulma*. Syiah Kuala University Press.

Rahmadina, A., Yunianti, R., & Salamah, A. (2019). *Akumulasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Eclipta prostrata, Synedrella nodiflora, dan Tridax procumbens*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29405/j.bes/3123-313399>

Rahman, M., Rahman, M. M., Mannan, M. A., Khatun, A., Rahman, M. M. A., Mannan, R., & Sultana, N. (2021). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of Commelina diffusa Burm: An updated systematic review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(4). www.phytojournal.com

Rahmatia, C., Hilwan, I., Mansur, I., Dan,), Noor, I., Studi, P., Tropika, S., Kehutanan, F., Pertanian Bogor, I., Silvikultur, D., Pt,), &

- Greston, J. B. (2019). *ANALISIS VEGETASI HUTAN RAWA BUATAN SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI DI PERTAMBANGAN BATUBARA, KALIMANTAN SELATAN (Analysis of Constructed Swamp Forest Vegetation as A Phitoremediation Agent in Coal Mining, South Kalimantan)* (Vol. 24, Issue 1).
- Rane, N. R., Chandanshive, V. V., Watharkar, A. D., Khandare, R. V., Patil, T. S., Pawar, P. K., & Govindwar, S. P. (2015a). Phytoremediation of sulfonated Remazol Red dye and textile effluents by *Alternanthera philoxeroides*: An anatomical, enzymatic and pilot scale study. *Water Research*, 83, 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.046>
- Rane, N. R., Chandanshive, V. V., Watharkar, A. D., Khandare, R. V., Patil, T. S., Pawar, P. K., & Govindwar, S. P. (2015b). Phytoremediation of sulfonated Remazol Red dye and textile effluents by *Alternanthera philoxeroides*: An anatomical, enzymatic and pilot scale study. *Water Research*, 83, 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.046>
- Ratna, Y., Swari, E. I., & Firmansyah, A. (2022). PERTUMBUHAN GULMA ALANG-ALANG (*Imperata cylindrica* L. Beauv.) PADA BERBAGAI KONDISI KEPADATAN SETELAH PEMOTONGAN DI PETROCHINA INTERNATIONAL JABUNG LTD. *Jurnal Media Pertanian*, 7(1), 50. <https://doi.org/10.33087/jagro.v7i1.135>
- Rawana, Wijayani, S., & Masrur, M. A. (2023). Indeks Nilai Penting dan Keanekaragaman Komunitas Vegetasi Penyusun Hutan di Alas Burno SUBKPH Lumajang. *Jurnal Wana Tropika*, 12(02), 80–89. <https://doi.org/10.55180/jwt.v12i02.215>
- Raza, M., Nosheen, A., Yasmin, H., Naz, R., Usman Shah, S. M., Ambreen, J., & El-Sheikh, M. A. (2023). Application of aquatic plants alone as well as in combination for phytoremediation of household and industrial wastewater. *Journal of King Saud University - Science*, 35(7). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102805>

- Replan, E., Villanueva.Jessica, Sevilla-Nastor, J. B., Velasquez, A., & Espaldon, M. V. O. (2023). Riparian Vegetation Assessment for Effective Management of Molawin River, Mt. Makiling, Philippines. *Journal of Environmental Science and Management*, 85–100.
- Rino Pratama, D., Yusuf, M., Helmi, M., & Perairan selatan Kabupaten, A. (2016). *KAJIAN KONDISI DAN SEBARAN KUALITAS AIR DI PERAIRAN SELATAN KABUPATEN SAMPANG, PROVINSI JAWA TIMUR* (Vol. 5, Issue 4). <http://ejournals-s1.undip.ac.id/index.php/joseJl.Prof.Sudarto,SHTembalangTlp./Fax>.
- Riyandini, V. L., Sawir, H., Irawan, A., Lisha, Y., Lingkungan, T., Tinggi, S., & Padang, T. I. (2023). *Penerapan Fitoremediasi Menggunakan Rumput Teki dalam Penurunan BOD pada Limbah Cair Industri Minyak Sawit* (Vol. 23). https://ojs.sttind.ac.id/sttind_ojs/index.php/Sain
- Rosarina, D., Ellysa, D., & Laksanawati, K. (2018). *STUDI KUALITAS AIR SUNGAI CISADANE KOTA TANGERANG DITINJAU DARI PARAMETER FISIKA* (Vol. 3, Issue 2).
- Saad, F. N. M., Lim, F. J., Izhar, T. N. T., & Odli, Z. S. M. (2020). Evaluation of phytoremediation in removing Pb, Cd and Zn from contaminated soil using Ipomoea Aquatica and Spinacia Oleracea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012142>
- Sa'At, S. K. M., Zaman, N. Q., Yusoff, S. M., & Ismail, H. A. (2017). Investigation of the potential of Cyperus alternifolius in the phytoremediation of palm oil mill effluent. *AIP Conference Proceedings*, 1892. <https://doi.org/10.1063/1.5005689>
- Sabreena, Hassan, S., Bhat, S. A., Kumar, V., Ganai, B. A., & Ameen, F. (2022). Phytoremediation of Heavy Metals: An

Indispensable Contrivance in Green Remediation Technology. In *Plants* (Vol. 11, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants11091255>

Saha, P., Shinde, O., & Sarkar, S. (2017). Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *International Journal of Phytoremediation*, 19(1), 87–96. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1216078>

Said Nahdi, M., Marsono, D., Sugandawaty Djohan, T., Baequni, dan M., & korespondensi, P. (2014). STRUKTUR KOMUNITAS TUMBUHAN DAN FAKTOR LINGKUNGAN DI LAHAN KRITIS, IMOGLI YOGYAKARTA (Community Structure of Plant and Environmental Factor in Critical Land, Imogiri Yogyakarta). In *Maret* (Vol. 21, Issue 1).

Salazar, M. J., Wannaz, E. D., Blanco, A., Miranda Pazcel, E. M., & Pignata, M. L. (2021). Pb tolerance and accumulation capabilities of *Bidens pilosa* L. growing in polluted soils depend on the history of exposure. *Chemosphere*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128732>

Santoso, yanto, and H. M. (2023). *Konsep Ukuran dan Metode Pengukuran Keanekaragaman Jenis Hayati*.

Sari, P., Sudarno, & Wisnu Irawan. (2015). *PENGARUH JUMLAH TANAMAN CYPERUS ALTERNIFOLIUS DAN WAKTU TINGGAL LIMBAH DALAM PENYISIHAN KADAR AMMONIAK, NITRIT, DAN NITRAT*.

Schweitzer, L., & Noblet, J. (2018). Water Contamination and Pollution. In *Green Chemistry: An Inclusive Approach* (pp. 261–290). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>

Sekhar, L., Ameena, M., & Jose, N. (2020). Herbicides and herbicide combinations for management of *Leptochloa chinensis* in wet-seeded rice. *Indian Journal of Weed Science*.

Sembodo, dad, R. J. (2010). *Gulma dan Pengelolaannya*. Graha Ilmu.

- Serefani, roberto, Arreghini, S., Troiani, H., & Lorio, A. (2023). Copper, zinc, and chromium accumulation in aquatic macrophytes from a highly polluted river of Argentina. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Shannon, C. E., & Wiener, W. (1963). The mathematical theory of communication. . *University Illinois Press, Urbana*.
- Sharma, P., Tripathi, S., & Chandra, R. (2021). Highly efficient phytoremediation potential of metal and metalloids from the pulp paper industry waste employing Eclipta alba (L) and Alternanthera philoxeroide (L): Biosorption and pollution reduction. *Bioresource Technology*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124147>
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Phytoremediation of Contaminated Land at Medan Industrial Area by Ornamental Plants. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Singh, S., & Fulzele, D. P. (2021). Phytoextraction of arsenic using a weed plant Calotropis procera from contaminated water and soil: growth and biochemical response. *International Journal of Phytoremediation*, 23(12), 1310–1318. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1895717>
- Situmorang, manihar. (2017). *Kimia Lingkungan*. Raja Grafindo Persada.
- Soegianto, A. (1994). *Ekologi Kuantitatif: Metode Analisis Populasi dan Komunitas*. Usaha Nasional.
- Soerjani, M., Kostermans, A. J. G. H., & Tjitoscepomo, G. (1986). *Weeds of rice in Indonesia*. BALAI PUSTAKA.
- Subhashini, V., & Swamy, A. V. V. S. (2016). *IJSR-INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH Research Paper Biotechnology Efficiency of Echinochloa Colona in The Removal of Heavy Metals From Contaminated Soils (Issue 3)*.

- Suhartono, & Winara, A. (2018). *KERAGAMAN DAN POTENSI PEMANFAATAN JENIS GULMA PADA AGROFORESTRI JATI (Tectona grandis L. f.) dan JALAWURE (Tacca leontopetaloides (L.) Kuntz).*
- Sulityaning, H. et al. ,. (2022). *Fitoremediasi: Pencemar Limbah Organik dan Anorganik di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove.* Media Nusa Creative.
- Sultana, R., Ahmed, T., Islam, S. M. N., & Uddin, M. N. (2022). Barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.) as a candidate plant for phytoremediation of arsenic from arsenic-amended and industrially polluted soils. *Frontiers in Soil Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.927589>
- Sundaramoorthy, P., Chidambaram, A., Ganesh, K. S., Unnikannan, P., & Baskaran, L. (2010). Chromium stress in paddy: (i) Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. *Comptes Rendus - Biologies*, 333(8), 597–607. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.03.002>
- Sylvia, D., Linggarweni, B. I., Nurhajawarsi, Lestari, M. fia, Corsita, L., Dwityaningsih, R., Sholehah, H., Halijah, & Herniwanti. (2022). *Kimia Lingkungan* (A. Ruhardi, Ed.). Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia .
- Talukdar, T., & Talukdar, D. (2015). Heavy Metal Accumulation as Phytoremediation Potential of Aquatic Macrophyte, *Monochoria vaginalis* (Burm.F.) K. Presl Ex Kunth. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 3(1), 9–15. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v3i1.12193>
- Thi Thanh Ho, V., Dang Pham, M., Phan Anh Tran, T., Minh Nguyen, D., Long Bach, G., Trinh Nguyen, D., Thi Pham, H., Vu Thuy Dang, T., Dang Tran, Q., & Dong Hoang, N. (2018). *SURVEYING THE GROWTH AND WASTEWATER TREATMENT ABILITY OF PARA GRASS (BRACHIARIA MUTICA) VEGETATION IN THE STABILIZATION PONDS.* 13(19). www.arpnjournals.com

- Thongtha, S., Teamkao, P., Boonapatcharoen, N., Tripetchkul, S., Techkarnjararuk, S., & Thiravetyan, P. (2014). Phosphorus removal from domestic wastewater by *Nelumbo nucifera* Gaertn. and *Cyperus alternifolius* L. *Journal of Environmental Management*, 137, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.003>
- Titah, H. S. , Tangahu, B. V. , & Mangkoedihardjo, S. (2018). *Teknologi remediasi lingkungan*. Mobius.
- Titahena, M. F., Mariwy, A., & Sunarti, S. (2023). STUDI REMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN TUMBUHAN TEKI (*Cyperus rotundus*). *Jurnal Reka Lingkungan*, 11(2), 95–104. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v11i2.95-104>
- Toepak, E. P., Tambunan, J., Febrianto, Y., Purwanto, F., & Tukan, D. N. (2020). Pengaruh Fitoremediasi Kangkung (*Ipomoea aquatica*), Apu-apu (*Pistia stratiotes*) dan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Kualitas Air Kolam Budiaya Ikan Lele (*Clarias sp*). *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 2(1), 25–28. <https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i1.356>
- Ulaganathan, A. (2022). Potentially toxic elements contamination and its removal by aquatic weeds in the riverine system: A comparative approach. *Environmental Research* .
- Ullah, S., Ali, R., Mahmood, S., Atif Riaz, M., & Akhtar, K. (2020). Differential Growth and Metal Accumulation Response of *Brachiaria Mutica* and *Leptochloa Fusca* on Cadmium and Lead Contaminated Soil. *Soil and Sediment Contamination*, 29(8), 844–859. <https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1777935>
- Ullah, S., Mahmood, S., Ali, R., Khan, M. R., Akhtar, K., & Depar, N. (2021). Comparing chromium phyto-assessment in *Brachiaria mutica* and *Leptochloa fusca* growing on chromium polluted soil. *Chemosphere*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128728>

- Van Oosten, M. J., & Maggio, A. (2015). Functional biology of halophytes in the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. In *Environmental and Experimental Botany* (Vol. 111, pp. 135–146). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.11.010>
- Venkateswarlu, V., Jhansi, T., Bai, L., & Venkatrayulu, C. H. (2019). Phytoremediation of heavy metal Copper (II) from aqueous environment by using aquatic macrophytes *Hydrilla verticillata* and *Pistia stratiotes*. *390 ~ International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(4). www.fisheriesjournal.com
- Vikriansyah, M. faruq, Prasetyo, H. D., & Latuconsina, H. (2024a). Analisis Kualitas Fisikokimia Air di Daerah Aliran Sungai Jilu Kabupaten Malang Jawa Timur. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.32734/jafs.v3i1.15701>
- Vikriansyah, M. faruq, Prasetyo, H. D., & Latuconsina, H. (2024b). Analisis Kualitas Fisikokimia Air di Daerah Aliran Sungai Jilu Kabupaten Malang Jawa Timur. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.32734/jafs.v3i1.15701>
- Wang, C., Gu, L., Liu, X., Ge, S., Chen, T., & Hu, X. (2016). Removal of pyrene in simulated wetland by joint application of *Kyllinga brevifolia* Rottb. and immobilized microbes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 114, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.11.008>
- Wang, J., Xiong, Y., Zhang, J., Lu, X., & Wei, G. (2020). Naturally selected dominant weeds as heavy metal accumulators and excluders assisted by rhizosphere bacteria in a mining area. *Chemosphere*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125365>
- Wang, R. L., Yan, W. B., Quan, G. M., Liu, S. W., & Zhang, J. E. (2017). Effects of light intensity on morphology and physiology of exotic invasive *Bidens pilosa* L. and non-invasive congener

- Bidens bipinnata L. *Allelopathy Journal*, 42(1), 157–167.
<https://doi.org/10.26651/2017-42-1-1113>
- Widiastuti, N. P., Zaman, S., & Sudradjat. (2020). Penghambatan Pertumbuhan Gulma Commelina diffusa oleh Pemberian Ekstrak Segar Daun Mikania micrantha. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 48(1), 104–110.
<https://doi.org/10.24831/jai.v48i1.29648>
- Widiyani, D. P., Usodri, K. S., Sari, S., & Nurmayanti, S. (2022). ANALISIS VEGETASI GULMA PADA BERBAGAI TEGAKAN TANAMAN PERKEBUNAN. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(2), 55.
<https://doi.org/10.23960/jat.v11i1.6045>
- Wijaya, N. (2014). *Biologi dan Lingkungan*.
- Yan, D., Xue, S., Zhang, Z., Xu, G., Zhang, Y., Shi, Y., Xing, M., & Zhang, W. (2023). Physiological Changes and Antioxidative Mechanisms of Alternanthera philoxeroides in Phytoremediation of Cadmium. *Environment and Health*, 1(2), 90–101. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00009>
- Yousefi, Z., Babanejad, E., Mohammadpour, R., & Esbokolaee, H. N. (2023a). Evaluation of Cd phytoremediation by Portulaca oleracea irrigated by contaminated water. *Environmental Health Engineering and Management*, 10(1), 67–73.
<https://doi.org/10.34172/EHEM.2023.08>
- Yousefi, Z., Babanejad, E., Mohammadpour, R., & Esbokolaee, H. N. (2023b). Evaluation of Cd phytoremediation by Portulaca oleracea irrigated by contaminated water. *Environmental Health Engineering and Management*, 10(1), 67–73.
<https://doi.org/10.34172/EHEM.2023.08>
- Yulianti, D., & Dwijananti, P. (2016). Unnes Physics Journal IDENTIFIKASI LOGAM BERAT PADA CUPLIKAN SEDIMENT SERTA TUMBUHAN DI SUNGAI KALIGARANG DENGAN METODE

ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN). In *UPJ* (Vol. 5, Issue 1).
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upj>

Yusal, M. S., & Hasyim, A. (2022). Kajian Kualitas Air Berdasarkan Keanekaragaman Meiofauna dan Parameter Fisika-Kimia di Pesisir Losari, Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 45–57.
<https://doi.org/10.14710/jil.20.1.45-57>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis vegetasi gulma di stasiun pengamatan Sungai Kaligarang Kota Semarang

NO	NAMA SPE	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PT 5	PT 6	JUMLAH	JUMLAH PETAK	kerapatan	Kerapatan relatif	Frekuensi	Frekuensi ralatif	INP	Pi	Inpi	pi ln pi	H'
I	<i>Ipomoea triloba</i> L.	1	0	7	0	1	0	9	3	1,5	5,1	0,5	9,4	14,5	0,051429	-2,96756	-0,15262	
	<i>Bidens pilosa</i> L.	2	9	0	2	0	0	13	3	2,2	7,4	0,5	9,4	16,8	0,074286	-2,59984	-0,19313	
	<i>Cyperus brevifolius</i>	0	0	0	0	0	7	7	1	1,2	4,0	0,2	3,1	7,1	0,04	-3,21888	-0,12876	
	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	0	3	0	0	0	0	3	1	0,5	1,7	0,2	3,1	4,8	0,017143	-4,06617	-0,06971	
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	14	0	0	0	0	0	14	1	2,3	8,0	0,2	3,1	11,1	0,08	-2,52573	-0,20206	
	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	0	7	5	9	5	7	33	3	5,5	18,9	0,5	9,4	28,2	0,188571	-1,66828	-0,31459	
	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.	7	2	11	0	0	9	29	4	4,8	16,6	0,7	12,5	29,1	0,165714	-1,79749	-0,29787	
	<i>Cyperus iria</i> L.	0	1	0	0	0	0	1	1	0,2	0,6	0,2	3,1	3,7	0,005714	-5,16479	-0,02951	
	<i>Echinochloa colonum</i>	9	5	3	2	2	6	27	6	4,5	15,4	1,0	18,8	34,2	0,154286	-1,86895	-0,28835	
	<i>Commelinacanina</i>	0	0	0	0	4	0	4	1	0,7	2,3	0,2	3,1	5,4	0,022857	-3,77849	-0,08637	
	<i>Cyperus pumilus</i> L.	0	0	0	0	2	0	2	1	0,3	1,1	0,2	3,1	4,3	0,011429	-4,47164	-0,0511	
	<i>Eleusine indica</i>	0	0	0	2	0	0	2	1	0,3	1,1	0,2	3,1	4,3	0,011429	-4,47164	-0,0511	
	<i>Leptochloa chinensis</i>	0	4	0	0	0	0	4	1	0,7	2,3	0,2	3,1	5,4	0,022857	-3,77849	-0,08637	
	<i>Mikania Triloba</i>	4	5	0	5	6	0	20	4	3,3	11,4	0,7	12,5	23,9	0,114286	-2,16905	-0,24789	
	<i>Eclipta prostrata</i>	0	0	0	0	0	7	7	1	1,2	4,0	0,2	3,1	7,1	0,04	-3,21888	-0,12876	
Total		37	36	26	20	20	36	175		29,2	100,0	5,3	100,0	200,0		-2,32818	2,32	

NO	NAMA SPE	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PT 5	PT 6	JUMLAH	JUMLAH PETAK	Kerapatan	Kerapatan	Frekuensi	Frekuensi	INP	Pi	Inpi	Pi in pi	H'
	<i>Monochoria vaginalis</i>	0	2	0	0	0	0	2	1	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5	0,019231	-3,951244	-0,075985	
	<i>Ludwigia perennis</i> L.	3	0	0	0	0	0	3	1	0,5	2,9	0,2	4,5	7,4	0,028846	-3,545779	-0,102282	
	<i>Bidens pilosa</i> L.	0	0	0	0	3	0	3	1	0,5	2,9	0,2	4,5	7,4	0,028846	-3,545779	-0,102282	
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	0	0	0	0	2	0	2	1	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5	0,019231	-3,951244	-0,075985	
	<i>Fimbristylis miliacae</i> (L.) Vahl	1	1	0	1	1	0	4	4	0,7	3,8	0,7	18,2	22,0	0,038462	-3,258097	-0,125311	
II	<i>Commelinia diffusa</i> Burm f.	0	0	9	17	0	2	28	3	4,7	26,9	0,5	13,6	40,6	0,269231	-1,312186	-0,353281	
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	0	0	2	0	0	0	2	1	0,3	1,9	0,2	4,5	6,5	0,019231	-3,951244	-0,075985	
	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	2	0	0	0	3	0	5	2	0,8	4,8	0,3	9,1	13,9	0,048077	-3,034953	-0,145911	
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv. Var	0	0	0	4	2	0	6										
	<i>Bambusa</i> sp.	0	1	0	0	0	0	1	2	1,0	5,8	0,3	9,1	14,9	0,057692	-2,852631	-0,164575	
	<i>Lindernia procumbens</i>	1	1	2	0	0	0	4	1	0,2	1,0	0,2	4,5	5,5	0,009615	-4,644391	-0,044658	
	<i>Echinochloa colona</i>	27	0	0	0	0	17	44	3	0,7	3,8	0,5	13,6	17,5	0,038462	-3,258097	-0,125311	
	JUMLAH	34	5	13	22	11	19	104		17,3	100,0	3,7	100,0	200,0		-1,755499	1,75	

NO	NAMA SPE	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PT 5	PT 6	JUMLAH	PETAK	Kerapatan	Kerapatan	Frekuensi	Frekuensi	Dominans	Dominans	INP	pi	lnpi	pi lnpi	H ⁺	
III	<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms	2	2	5	6	2	3	20	6			3,3	19,8	1,0	30,0	3,3	7,7	57,5	0,19802	-1,61939	-0,32067
	<i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.	5	4	5	4	1	1	16	6			2,7	15,8	1,0	30,0	2,7	6,2	52,0	0,15842	-1,84253	-0,29189
	<i>Cyperus imbricatus</i> Retz.	0	10	0	0	0	0	10	1			1,7	9,9	0,2	5,0	10,0	23,1	38,0	0,09901	-2,31254	-0,22896
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	0	0	0	0	5	0	5	1			0,8	5,0	0,2	5,0	5,0	11,6	21,5	0,0495	-3,00568	-0,1488
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	0	0	0	10	0	0	10	1			1,7	9,9	0,2	5,0	10,0	23,1	38,0	1,11111	0,10536	0,11707
	<i>Brachiaria mutica</i>	0	2	0	19	13	3	37	4			6,2	36,6	0,7	20,0	9,3	21,4	78,0	0,36634	-1,0042	-0,36788
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	0	0	0	3	0	0	3	1			0,5	3,0	0,2	5,0	3,0	6,9	14,9	0,33333	-1,09861	-0,3662
TOTAL		7	18	10	42	21	7	101		16,8	100,0	3,3	100,0	43,3	100,0	300,0			-1,60733	1,607	

Lampiran 2. Plot pengamatan



Gambar Plot Pengamatan Stasiun 1



Gambar Plot Pengamatan Stasiun 2



Gambar plot pengamatan stasiun 3

Lampiran 3. Gambar Kegiatan Penelitian



Gambar 5.1 Pengukuran parameter lingkungan



Gambar 5.2 Pengukuran Kadar BOD dan DO

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



- A. Identitas Diri**
 - 1. Nama Lengkap : Koniatussa'diyah
 - 2. Tempat & Tgl. Lahir : Kudus, 11 April 2003
 - 3. Alamat Rumah : Bulungcangkring rt2/14
Kec. Jekulo Kab. Kudus
- B. Riwayat Pendidikan**
 - 1. SD Negeri 6 Bulungcangkring
 - 2. SMP Negeri 1 Jekulo Kudus
 - 3. SMA Negeri 1 Jekulo Kudus
 - 4. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang