

**POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN
TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

**Oleh:
M. RAMADLONI ILYAS
NIM. 200602110161**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN
TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

**Oleh:
M. RAMADLONI ILYAS
NIM. 200602110161**

**diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN
TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh:
M. RAMADLONI ILYAS
NIM. 200602110161

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
pada tanggal 24 Juni 2024

Pembimbing I

Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 19900807 201903 1 011

Pembimbing II

Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si
NIPPPK. 19870522 202321 1 016



**Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi**

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

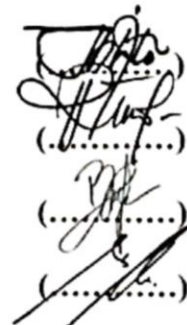
**POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN
TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN
FITTOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Oleh:
M. RAMADLONI ILYAS
NIM. 200602110161

Telah dipertahankan
Di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai
Salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 12 Juli 2024

Ketua Penguji I : Dr. Dwi Suheriyanto, M.P
NIP. 19740325 200312 1 001
Anggota Penguji I : Ruri Siti Resmisari, M.Si
NIPPPK. 19790123 202321 2 008
Anggota Penguji II : Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 19900807 201903 1 011
Anggota Penguji III : Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si
NIPPPK. 19870522 202321 1 016


(.....)
(.....)
(.....)

Mengetahui dan Mengesahkan
Ketua Program Studi Biologi,



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil ‘alamin, segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT rabb semesta alam yang masih memberikan nikmat kesehatan, kesempatan dan kemudahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah limpahkan kepada baginda Rasulullah SAW, semoga kita semua mendapatkan syafaat beliau dihari akhir, Aamiin. Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Orang tua tercinta, Bapak Jumhari dan Ibu Hj. Husnul Khotimah yang siang dan malam disetiap harinya selalu mendokan serta memberikan semangat kepada penulis.
2. Guru penulis di PPSQ Asy-Syadzili, Abuya KH. Abdul Mun'im Syadzili dan Umik Mahsusiyyah Ismawati yang menjadi orang tua ke-2 sekaligus teladan bagi penulis.
3. Kakak penulis Syihab Irfani dan adik penulis Sulton Abdul Aziz yang selalu menjadi support penyemangat kepada penulis sehingga penulis memiliki semangat yang kuat untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Pembimbing skripsi, Bapak Bayu Agung Prahardika, M.Si dan para Dosen Botani dan Ekologi UIN Malang yang selalu memberikan pandangan dan ilmu yang positif kepada penulis, tidak hanya ilmu sains, juga ilmu kehidupan.
5. Ikhsan, Faiz, Irsyad, dan Rafi yang selalu mengingatkan penulis untuk selalu konsisten menulis laporan skripsi.
6. Para “Patekers”, sebagai teman seperjuangan dan sahabat penulis yang berani untuk berdebat dan mengkritik penulis sehingga penulis memiliki teman berfikir yang baik.
7. Family SGP (Staff Gagal Paham) yang selalu menjadi tempat pulang ternyaman dikala penulis sedang bersedih.
8. Keluarga “BBS” yang selalu memberi semangat kepada penulis.
9. Para ADC (Arek Dapur Comunity) yang selalu memberi inspirasi dan menerima penulis apa adanya.
10. Family Ligase, teman-teman satu kelas penulis yang selalu ada dibelakang memberikan dukungan kepada penulis.
11. Teman teman Angkatan 2020 Biogen-C dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan kepada penulis baik secara materil maupun nonmaterial.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Ramadloni Ilyas

NIM : 200602110161

Program Studi : Biologi

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Potensi Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) dan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) Sebagai Agen Fitoremediasi Pencemaran Timbal (Pb)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan/pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan daftar cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini hasil jiplakan, maka saya siap menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 05 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



M. Ramadloni Ilyas

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

**POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN
TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)**

M. Ramadloni Ilyas, Bayu Agung Prahardika, Muhammad Asmuni Hasyim

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Limbah minyak pelumas bekas mengandung beberapa logam berat, satu diantaranya yaitu logam berat timbal (Pb). Logam timbal (Pb) yang terakumulasi dalam perairan dapat memicu pencemaran lingkungan. Berbagai cara yang dapat dilakukan sebagai upaya mengurangi jumlah polutan dalam pencemaran perairan diantaranya yaitu dengan fitoremediasi. Penggunaan tanaman akuatik dalam fitoremediasi berpotensi sebagai agen penyerapan polutan, seperti tanaman *Ipomoea aquatica* dan tanaman *Limnocharis flava*. Tujuan penelitian ini, yaitu untuk mengkaji potensi tanaman *Ipomoea aquatica* dan tanaman *Limnocharis flava* sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam Pb. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 kali ulangan (kontrol; 100% *Ipomoea aquatica*, 100% *Limnocharis flava*, dan kombinasi 50% *Ipomoea aquatica* serta 50% *Limnocharis flava*) dengan waktu detensi 15 hari. Parameter penelitian meliputi daya penyisihan logam Pb. Hasil penelitian menunjukkan tanaman *Ipomoea aquatica* dan tanaman *Limnocharis flava* belum menunjukkan potensi sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam timbal (Pb). Hal ini dibuktikan dengan rerata kontrol sebesar 0,60 mg/L, P1 (*Ipomoea aquatica*) sebesar 0,24 mg/L, P2 (*Limnocharis flava*) sebesar 0,11 mg/L, dan P3 (kombinasi *I. aquatica* dan *L. flava*) sebesar 0,33 mg/L di hari ke-15 perlakuan fitoremediasi. Penelitian ini belum berhasil memanfaatkan potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai agen fitoremediasi pencemaran timbal (Pb) dan perlu dilakukan penelitian ulang dengan menyempurnakan metode dan memperhatikan analisis yang dilakukan.

Kata kunci: fitoremediasi, *Ipomoea aquatica*, *Limnocharis flava*, logam berat timbal (Pb)

POTENTIAL OF WATER CLASS PLANTS (*Ipomoea aquatica*) AND GENJER PLANTS (*Limnocharis flava*) AS PHYTOREMEDIATION AGENT OF LEAD (Pb) POLLUTION

M. Ramadloni Ilyas, Bayu Agung Prahardika, Muhammad Asmuni Hasyim

Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam
Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRACT

Used lubricating oil waste contains several heavy metals, one of which is the heavy metal lead (Pb). Lead metal (Pb) dissolved in waters can trigger environmental pollution. There are various ways that can be used to reduce the amount of pollutants in water pollution, including phytoremediation. The use of aquatic plants in phytoremediation has the potential as an agent for absorbing pollutants, such as the *Ipomoea aquatica* plant and the *Limnocharis flava* plant. The aim of this research is to assess the potential of the *Ipomoea aquatica* plant and the *Limnocharis flava* plant as a phytoremediation agent for Pb metal pollution. The method used was a quantitative descriptive method with an experimental approach consisting of 4 treatments and 3 replications (control; 100% *Ipomoea aquatica*, 100% *Limnocharis flava*, and a combination of 50% *Ipomoea aquatica* and 50% *Limnocharis flava*) with a detention time of 15 days. Research parameters include the removal power of Pb metal. The results of the research show that the *Ipomoea aquatica* plant and the *Limnocharis flava* plant have not shown potential as phytoremediation agents for lead (Pb) metal pollution. This is proven by the control mean of 0.60 mg/L, P1 (*Ipomoea aquatica*) of 0.24 mg/L, P2 (*Limnocharis flava*) of 0.11 mg/L, and P3 (combination of *I. aquatica* and *L. flava*) of 0.33 mg/L on the 15th day of phytoremediation treatment. This research has not succeeded in exploiting the potential of the water spinach plant (*Ipomoea aquatica*) and the genjer plant (*Limnocharis flava*) as a phytoremediation agent for lead (Pb) pollution and needs to be carried out again by refining the method and paying attention to the analysis carried out.

Keywords: phytoremediation, *Ipomoea aquatica*, *Limnocharis flava*, heavy metal lead (Pb)

إمكانات نبات السبانخ المائية (*Ipomoea aquatica*) ونبات الجينجر (*Limnocharis flava*) كعوامل معالجة نباتية للمياه الملوثة بالرصاص (Pb)

محمد رمضان إلياس، بايو أجونج براهاردريكا، محمد أسموني هاشم

برنامج دراسات الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

خلاصة

تحتوي مخلفات زيوت التشحيم المستعملة على عدة معادن ثقيلة، أحدها معدن الرصاص الثقيل (Pb). يمكن أن يؤدي معدن الرصاص (Pb) المذاب في المياه إلى حدوث تلوث بيئي. هناك طرق مختلفة يمكن استخدامها لتقليل كمية الملوثات في تلوث المياه، بما في ذلك المعالجة النباتية. إن استخدام النباتات المائية في المعالجة النباتية لديه القدرة على امتصاص الملوثات، مثل نبات *Ipomoea aquatica* ونبات *Limnocharis flava*. الهدف من هذا البحث هو تقييم إمكانات نبات *Ipomoea aquatica* ونبات *Limnocharis flava* كعامل معالجة نباتية للتلوث بمعدن الرصاص. كانت الطريقة المستخدمة عبارة عن طريقة وصفية كمية ذات منهج تجريبي يتكون من 4 معالجات و3 مكررات (التحكم؛ 100% *Ipomoea aquatica*، 100% *Limnocharis flava*، ومزيج من 50% *Ipomoea aquatica* و50% *Limnocharis flava*) مع فترة احتجاز من 15 يوما. تتضمن معلومات البحث قوة إزالة معدن الرصاص. تظهر نتائج البحث أن السبانخ المائي (*Ipomoea aquatica*) والجنجر (*Limnocharis flava*) لهما إمكانات ضئيلة كعوامل معالجة نباتية للتلوث المعدني بالرصاص (Pb). تم إثبات ذلك من خلال متوسط التحكم البالغ 0.60 ملجم / لتر، و0.24 (*Ipomoea aquatica*) P1 ملجم / لتر، وP2 (ليمونوشاريس فلافا) 0.11 ملجم / لتر، وP3 (مزيج من *I. aquatica* و *L. flava*) 0.33 ملجم / لتر في اليوم الخامس عشر من العلاج بالمعالجة النباتية. لم يكن هذا البحث ناجحًا ويجب إجراؤه مرة أخرى من خلال تحسين الطريقة المتعلقة بإمكانيات نبات *Ipomoea aquatica* ونبات *Limnocharis flava* كعامل معالجة نباتية للتلوث بالرصاص (Pb) من خلال الأخذ في الاعتبار التحليل الذي تم إجراؤه.

الكلمات المفتاحية: المعالجة النباتية، *Ipomoea aquatica*، *Limnocharis flava*، الرصاص المعدني الثقيل (Pb)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Bismillahirrohmaanirrohiim, Puji Syukur diucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal hyskripsi dengan judul “Potensi Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) dan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) Sebagai Agen Pencemaran Timbal (Pb)”. Tidak lupa shalawat dan salam disampaikan kepada junjungan Nabi Agung Muhammad SAW yang telah menegakkan *Diinul Islam* yang terpatri hingga akhir zaman. Aamiin.

Berkat bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak yang mendukung agar penulis segera menyelesaikan skripsi ini, maka penulis mengucapkan terimakasih yang tak terkira kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P. selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bayu Agung Prahardika, M.Si., selaku pembimbing I dan Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si., selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc., selaku dosen wali akademik, yang telah membimbing dan memberikan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Seluruh dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang menemani penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium tersebut.
7. Teman-teman Biogen-C 2020 khususnya Kelas Biologi D Ligase yang selalu memberikan semangat kepada penulis agar menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis memohon maaf apabila dalam penulisan tugas akhir ini terdapat kesalahan dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, para pembaca, maupun berbagai pihak.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Malang, 5 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vi
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
خلاصة	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Masalah	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Pencemaran Lingkungan Perairan dalam Prespektif Islam	11
2.2 Pencemaran Air	13
2.3 Logam Berat Timbal (Pb)	16
2.4 Fitoremediasi	18
2.4.1 Definisi Fitoremediasi	18
2.4.2 Mekanisme Fitoremediasi	20
2.5 Tanaman Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatica</i>)	23
2.5.1 Klasifikasi Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatica</i>)	23
2.5.2 Deskripsi Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatica</i>)	24
2.6 Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	26
2.6.1 Klasifikasi Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	26
2.6.2 Deskripsi Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	27
2.7 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Pb oleh Tanaman	28
2.8 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Rancangan Penelitian	33
3.2 Variabel Penelitian	33

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.4 Alat dan Bahan	34
3.4.1 Alat	34
3.4.2 Bahan	34
3.5 Kerangka Penelitian	35
3.6 Prosedur Penelitian	35
3.6.1 Penentuan Konsentrasi Pencemar	35
3.6.2 Aklimatisasi Tanaman	37
3.6.3 Persiapan Fitoremediasi	38
3.6.4 Pelaksanaan Fitoremediasi	39
3.6.5 Pengamatan Perlakuan	39
3.6.5.1 Pengukuran Pada Media	39
3.7 Analisis Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Daya Penyisihan Logam Berat Timbal (Pb)	41
4.2 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam	49
BAB V KESIMPULAN.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kandungan Logam dalam Minyak Pelumas Bekas	15
4.1 Rerata kadar Pb dalam media tanam (air) dan daya penyisihan (%)	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Pencemaran Lingkungan Perairan	14
2.2 Mekanisme Fitoremediasi Tanaman dalam Menyerap Polutan	20
2.3 Tanaman Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatica</i>)	25
2.4 Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	27
2.5 Instrumen Atomic Absorption Spectrometer (AAS)	31
3.1 Kerangka Penelitian Fitoremediasi	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Rancangan Penelitian	64
2. Kurva Standart Logam Berat Timbal (Pb)	65
3. Hasil uji AAS Kadar Pb dalam media tanam (air)	66
4. Data Pengukuran TDS	67
5. Data Pengukuran Derajat Keasaman (pH)	68
6. Data Pengukuran Suhu (°C)	69
7. Morfologi Tanaman Uji Sebelum dan Setelah Perlakuan	70
8. Alat dan Bahan Penelitian	71
9. Dokumentasi Penelitian	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan bermotor merupakan salah satu moda transportasi pendukung yang mungkin semakin dibutuhkan seiring dengan semakin banyaknya mobilitas masyarakat (Kementerian Perhubungan, 2017). Setiap tahunnya, jumlah pengguna kendaraan bermotor di Indonesia meningkat secara signifikan (BPS, 2023). Menurut survei Badan Pusat Statistik pada tahun 2019, jumlah kendaraan sepeda motor di Indonesia sebesar 133.617.012 unit. Pada tahun 2020 jumlah kendaraan sepeda motor semakin meningkat sebesar 136.137.451 unit. Angka tersebut semakin meningkat menjadi 141.992.573 unit pada tahun 2021 (BPS, 2023). Dengan kata lain, Indonesia akan menggunakan dan mengonsumsi lebih banyak energi jika semakin banyak orang yang mengendarai kendaraan bermotor (Rahmawati, 2020).

Kendaraan bermotor yang semakin bertambah akan mempengaruhi penggunaan minyak sebagai bahan bakarnya, yang diikuti dengan adanya pemeliharaan mesin sebagai upaya agar mesin kendaraan tetap aman ketika digunakan (Arifin dkk., 2016). Salah satu bahan yang digunakan dalam pemeliharaan mesin yaitu minyak pelumas atau oli (Arnoldi, 2009). Pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan mesin kendaraan bermotor biasanya dilakukan di bengkel (Arsyad dan Sultan, 2018). Kegiatan usaha bengkel konvensional memiliki dampak positif dan dampak negatif (DLH, 2019). Dampak positifnya adalah memberikan kesejahteraan dan lapangan pekerjaan bagi masyarakat, sebaliknya dampak negatif dari kegiatan tersebut dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh sedikit atau banyaknya tumpahan oli bekas kendaraan bermotor (DLH, 2019).

Kerusakan lingkungan seringkali disebabkan oleh ulah tangan manusia yang tidak bertanggung jawab, termasuk pencemaran pada lingkungan perairan. Pencemaran lingkungan perairan dapat disebabkan oleh kegiatan masyarakat yang kurang memperhatikan dampak dari kegiatan yang dilakukannya. Perilaku buruk tersebut sudah difirmankan oleh Allah SWT dalam Al-Qur'an surah Ar Rum (30) ayat 41:

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

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

Berdasarkan ayat di atas dapat dijelaskan bahwa kerusakan yang terjadi di daratan dan lautan adalah akibat dari ulah tangan manusia. Menurut Ali (2009) dalam Tafsir Yusuf Ali, kalimat “لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ” memiliki makna bahwa tujuan terakhir keadilan Tuhan dan hukuman-Nya ialah mengajak manusia memperbaiki dan bertanggung jawab dalam menjaga keseimbangan ekosistem, serta mengembalikannya ke bentuk semula seperti halnya ketika awal mula diciptakan (Suriyani & Khotijah, 2013). Kerusakan lingkungan dapat ditimbulkan oleh adanya kegiatan-kegiatan yang dilakukan manusia dalam mengeksploitasi lingkungan dengan tamak. Perbuatan manusia yang merusak lingkungan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem yang berada di darat maupun lautan (Shihab, 2009). Menurut Rizkiyah & Erwanto (2023) berdasarkan keterangan yang banyak dikutip oleh para ulama' yakni dari *Ar-Raghib Al-Asfahani* dalam kamus *Gharib Al Qur'an* nya mengatakan bahwa kerusakan adalah keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak. Keseimbangan ekosistem yang terganggu dapat

disebabkan oleh adanya limbah hasil kegiatan manusia dan mengakibatkan lingkungan menjadi tidak layak huni. Satu diantara limbah yang ditimbulkan yaitu minyak pelumas bekas dari kendaraan bermotor (DLH, 2019).

Salah satu komponen yang sangat mempengaruhi perawatan mesin adalah oli pelumas (Arnoldi, 2009). Produk olahan minyak bumi yang termasuk dalam golongan sampah organik berupa senyawa hidrokarbon adalah minyak pelumas (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2006). Satu diantara jenis pencemaran yang membutuhkan daya waktu yang cukup lama untuk terurai di alam adalah senyawa hidrokarbon (Nowak *et al.*, 2019). Hal ini disebabkan kandungan senyawa hidrokarbon bersifat racun yang mempunyai kemampuan mengubah komposisi dan struktur tanah serta mencemari udara dan air (Gao *et al.*, 2022).

Zn, Cu, Ni, dan Pb merupakan beberapa komponen logam berat yang terdapat pada limbah minyak pelumas bekas (Novitasari, 2023). Menurut Akintunde *et al.* (2015), pelumas bekas memiliki kandungan timbal (Pb) yang merupakan salah satu unsur logam berat dalam jumlah yang relatif tinggi. Keausan pada mesin motor dan proses bahan bakar aditif menjadi penyebab utama kandungan unsur logam berat (Kin, 2008). Menurut penelitian Hasyim (2016) bahwa satu diantara kandungan logam berat dengan konsentrasi tinggi yang terdapat pada minyak pelumas bekas yaitu timbal (Pb) dengan konsentrasi sebesar 138 mg/kg.

Timbal (Pb) adalah kelompok logam berat yang beracun dan sangat berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup, utamanya manusia (Rosita dan Widiarti, 2018). Timbal (Pb) dapat menjadi racun jika kadar logam terdeteksi dalam darah manusia di atas 0,08 mg/L atau urin pada atau di atas 0,15 mg/L (Darmono, 2001). Menurut Adhani dan Hursaini (2017) bahwa Pb dapat menimbulkan akibat negatif

jangka panjang pada tubuh manusia, seperti penurunan IQ, muntah-muntah, anemia, melemahnya sistem kekebalan tubuh, kerusakan sistem saraf, dan kerusakan ginjal. Selain itu Pb dapat mengubah ukuran dan bentuk sel darah merah sehingga dapat meningkatkan tekanan darah (Cahyania dan Bambang, 2010). Hal ini menjadi alasan lain mengapa logam Pb berbahaya. Keracunan logam timbal pada manusia terbukti mempunyai efek akut dan jangka panjang (Adhani dan Hursaini, 2017).

Dalam mencegah terjadinya pencemaran timbal (Pb) yang berdampak negatif terhadap biota perairan dan lingkungan sekitar yang juga dapat berdampak pada kesehatan manusia, diperlukan tindakan nyata untuk mengurangi pencemaran timbal (Pb) pada badan air yang terkontaminasi (Perwitasari dkk., 2018). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan penemuan berbagai badan air, termasuk sungai dan pantai, di seluruh Indonesia membuktikan adanya polusi logam timbal yang berasal dari beragam industri. (Eldrin dkk., 2019; Sidjabat dkk., 2020; dan Alisa dkk., 2020). Oleh karena itu, Banyak teknik yang telah digunakan untuk menurunkan kontaminan berupa kadar timbal (Pb) dalam air, antara lain dengan penguapan, elektrodialisis, proses pertukaran ion, sedimentasi, dan penyerapan dengan karbon aktif. Namun, teknik ini terlalu mahal. (Gurreri *et al.*, 2020).

Memanfaatkan peran makhluk hidup lain atau bioremediasi merupakan salah satu langkah perbaikan lingkungan perairan yang terkontaminasi timbal (Pb) (Murillo-Tovar *et al.*, 2020). Menurut Kabir dan Islam (2017), bioremediasi adalah proses menghilangkan atau meminimalkan pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan organisme hidup termasuk jamur, bakteri, dan tumbuhan. Telah

dibuktikan bahwa penggunaan teknik bioremediasi organik dapat secara aman dan efektif meningkatkan kualitas lingkungan yang terkontaminasi (Megharaj *et al.*, 2014). Menurut Atagana (2008), Metode bioremediasi tersebut telah banyak digunakan di berbagai lingkungan industri, termasuk pembersihan tumpahan minyak di lingkungan darat dan laut. Karena tidak memanfaatkan bahan kimia berbahaya dan tidak merusak lingkungan, maka penggunaan bahan alami sebagai agen bioremediasi dapat menghemat biaya operasional dan ramah lingkungan (Kumar *et al.*, 2023).

Meskipun teknik bioremediasi tidak mahal dan ramah lingkungan (Paz-Alberto *and* Sigua, 2013), ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar teknik ini berhasil membersihkan area yang terkontaminasi polutan (Kusrijadi dkk., 2009). Mikroorganisme yang digunakan harus sesuai dengan bahan pencemar, dan parameter lingkungan tersebut meliputi pH, suhu, kadar air, ketersediaan oksigen, kelembaban, ketersediaan nutrisi, dan salinitas (Mujab, 2011).

Alternatif lain yang dapat dilakukan untuk remediasi kadar limbah di lingkungan selain mikroba adalah dengan cara memanfaatkan peranan tanaman (Kafle *et al.*, 2022). Pemanfaatan tanaman tertentu dalam memperbaiki kualitas lingkungan yang tercemar disebut fitoremediasi (Paz-Alberto *and* Sigua, 2013). Dengan menggunakan tumbuhan dan bagian-bagiannya, fitoremediasi merupakan suatu teknik remediasi yang dapat dilakukan baik secara *in-situ* (langsung di lapangan) maupun *ex-situ* (menggunakan kolam atau reaktor buatan) untuk membersihkan tanah, air, dan udara yang tercemar limbah (Handayani dkk., 2013). Fitoremediasi merupakan metode remediasi yang memiliki beberapa kelebihan, yaitu murah, mudah diterapkan, ramah lingkungan (Hidayati, 2005), dan dapat

mereduksi kontaminan dalam jumlah besar (Laghlimi *et al.*, 2015). Tanaman berperan sebagai penyerap, pendegradasi, pentransformasi, dan pengimobilisasi bahan pencemar (Handayani dkk., 2013). Selain faktor tanaman dan mikroorganisme, proses fitoremediasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti tingkat keasaman (pH), suhu, dan kelembaban (Mujab, 2011). Fitoremediasi mempunyai kelemahan dalam aplikasinya, seperti waktu yang dibutuhkan dalam memperbaiki kualitas lingkungan relatif lebih lama (Paz-Alberto *and* Sigua, 2013). Akan tetapi, metode ini dapat diaplikasikan pada kontaminan lingkungan yang bersifat organik maupun anorganik (Soheti dkk., 2020).

Tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi bervariasi, tergantung jenis pencemar yang diremediasi, kondisi lingkungan, dan ketersediaan tanaman (Kafle *et al.*, 2022). Lingkungan perairan yang tercemar dapat diremediasi oleh sebagian kelompok tanaman akuatik (Muthukumaran, 2022). Hal tersebut dikarenakan tingkat pertumbuhan tanaman akuatik sangat tinggi serta akarnya yang memiliki kemampuan sebagai penyaring dan penyerap padatan tersuspensi (Rahayu, 2020).

Beberapa penelitian tentang penggunaan tanaman akuatik sebagai agen fitoremediator limbah perairan telah banyak dilakukan, salah satunya yakni tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) (Hidayati, 2005). Tanaman *Ipomoea aquatica* diketahui dapat menurunkan kadar logam berat Pb dan Cu pada air yang terkontaminasi limbah dengan estimasi waktu 14 hari. Tanaman tersebut mampu menurunkan kadar Pb dalam air limbah buatan sebesar 70,6%, sedangkan kadar Cu menurun sebesar 52,2% (Fitria, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Vidyanti dkk. (2019), kangkung air (*Ipomoea aquatica*) terbukti mampu menyerap

timbal (Pb) dari air sumur yang tercemar Pb akibat aktivitas pertambangan emas tradisional di daerah tersebut. Tanaman *I. aquatica* mampu menurunkan kadar Pb hingga 2,08 mg/L yang semula sebesar 2,24 mg/L dalam detensi waktu 15 hari.

Penelitian Siregar dan Lestari (2024) mengkonfirmasi bahwa tanaman *I. aquatica* dapat bertahan dengan baik pada media yang mengandung limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) awal sebesar 500 mg/L. Hasil penelitian selama 15 hari menunjukkan adanya penurunan nilai COD sebesar 240 mg/L. Pengukuran biomassa juga dilakukan pada tanaman *I. aquatica* dan memperoleh nilai penurunan yang paling rendah diantara semua perlakuan yakni 76,5 g menjadi 89,16 g. Namun, kandungan limbah cair yang terlalu tinggi dapat menyebabkan klorosis yang ditandai dengan rusaknya struktur akar dan menghambat pertumbuhan kangkung air. Tanaman akuatik lain yang menjadi agen fitoremediasi adalah genjer (*Limnocharis flava*) (Jamil dkk., 2015).

Jenis tanaman tertentu yang disebut genjer (*Limnocharis flava*) biasanya ditemukan di sawah atau rawa yang tergenang air (Don *et al.*, 2000). Seperti halnya kangkung air dan eceng gondok, genjer termasuk dalam kategori tumbuhan liar (Isa dkk., 2014). Hasil penelitian Fitria dkk. (2021), bahwa tanaman genjer memiliki potensi yang cukup baik dalam menurunkan kadar logam berat (Pb dan Cu) serta radionuklida. Pada hari ke-14, kadar Pb dalam air limbah buatan yang diberi perlakuan dengan genjer menurun sebesar 24,8%, sedangkan kadar Cu menurun sebesar 16,8%. Kadar Pb dalam air limbah cair pabrik penyamakan kulit yang diberi perlakuan dengan genjer menurun sebesar 22,7%, sedangkan kadar Cu menurun sebesar 18,5%.

Selain itu, penelitian Rachmadiarti dkk. (2012) mengonfirmasi bahwa tanaman *Limnocharis flava* berpotensi menjadi hiperakumulator logam berat timbal (Pb). Pada konsentrasi 10 ppm dengan lama pemaparan 30 hari diperoleh nilai biokonsentrasi (BCF) batang, akar, dan daun masing-masing sebesar 9,54, 4,90, dan 18,74, dengan faktor translokasi (TF) maksimum sebesar 0,9 dan translokasi efisiensi mencapai 74%. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan di Kolombia oleh Negrete *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa tergantung pada waktu pemaparan, *Limnocharis flava* dapat menyerap merkuri (Hg) sampai 90%, atau sembilan kali lebih besar dari kontrol. Kandungan Hg di lahan basah dapat dikurangi dengan perlakuan tanaman *Limnocharis flava*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini ingin mengetahui potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan konsentrasi pencemaran logam berat timbal (Pb). Latar belakang informasi yang diberikan mendukung penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari tahu lebih lanjut potensi penerapan *Limnocharis flava* dan *Ipomoea aquatica* sebagai tanaman fitoremediasi dalam pengelolaan dan pemulihan pencemaran ekosistem perairan yang terkontaminasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam timbal (Pb)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam timbal (Pb).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai salah satu rekomendasi fitoremediasi penurunan konsentrasi pencemaran logam berat timbal (Pb).
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan studi lanjut dalam mengelola lingkungan perairan yang tercemar serta dapat digunakan sebagai upaya restorasi kualitas lingkungan perairan yang tercemar logam berat timbal (Pb).

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Tanaman uji yang digunakan adalah kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan genjer (*Limnocharis flava*) yang diambil dari aliran sungai Bureng, Desa Sukosari, Kecamatan Gondanglegi, Kabupaten Malang.
2. Penelitian fitoremediasi ini menggunakan sistem *batch*.

3. Air yang digunakan yaitu air limbah sintetis yang berasal dari campuran air sumur dan logam berat timbal (Pb).
4. Konsentrasi logam berat timbal (Pb) yang dianalisis berasal dari media (air dan tanah sawah) dan penambahan Pb sintetis sebesar 0,5 mg/L.
5. Selama penelitian berlangsung, rembesan atau penguapan dianggap minimal (tidak berarti).
6. Reaktor yang digunakan berjumlah 12 reaktor dengan 4 perlakuan, yaitu 3 perlakuan tanaman (100% tanaman *Ipomoea aquatica*, 100% tanaman *Limnocharis flava*, dan kombinasi antara 50% tanaman *Ipomoea aquatica* serta 50% tanaman *Limnocharis flava*) dan 1 kontrol.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Lingkungan Perairan dalam Prespektif Islam

Perubahan kualitas air yang diakibatkan ulah tangan manusia merupakan aktivitas pencemaran lingkungan sehingga tidak dapat digunakan lagi bagi kepentingan manusia ataupun makhluk hidup lainnya. Dalam pelestarian perluasan dan pengembangan ekosistem lingkungan, perlu dilakukan lebih banyak upaya untuk melestarikan lingkungan. Allah SWT telah berfirman dalam Al-Quran surat Al-A'raf ayat 56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *“Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik”*.

Ayat ini menjelaskan bahwa Allah SWT melarang umat manusia melakukan kerusakan pada muka bumi. Tafsir Kementrian Agama RI menjelaskan bahwa lafadz “وَلَا تُفْسِدُوا” dapat diartikan larangan menimbulkan kerugian bersifat universal dan mempunyai definisi yang luas. Allah SWT menciptakan bumi secara menakjubkan sebagai tempat berpijak. terciptanya bumi, sungai, lautan, gunung, lembah, dan lain-lain, yang semuanya merupakan anugerah Allah SWT kepada umat manusia. Hal ini dilakukan agar masyarakat dapat memanfaatkan sumber daya alam secara bijak dan seefisien mungkin (Abdullah, 2007).

Tumbuhan merupakan satu diantar jenis pemanfaatan sumber daya alam yang diketahui berkaitan dengan proses penyerapan limbah. Tanaman kangkung air dan genjer merupakan contoh jenis tanaman air yang dapat dimanfaatkan untuk

mengolah perairan yang tercemar limbah. Tumbuhan ini banyak dijumpai di perairan. Karena dapat bertahan hidup di berbagai lingkungan dan iklim, tanaman ini memiliki tingkat kemampuan beradaptasi yang tinggi. Allah SWT juga berfirman dalam surat An-Nahl ayat 11 sebagai berikut:

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ
لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya: “*Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untukmu tumbuh-tumbuhan, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir*”.

Ayat di atas ditafsirkan dalam Tafsir Ibnu Katsir bahwa redaksi tersebut berkaitan dengan dengan kekuasaan Allah SWT yang mampu menurunkan hujan dari langit (Abdullah, 2007). Dengan kekuasaan-Nya itulah air hujan yang jatuh ke bumi akan menumbuhkan tumbuhan-tumbuhan berbagai macam, warna, rasa, buah, bentuk, dan manfaatnya. Peristiwa tersebut menjadi satu daintara tanda-tanda kekuasaan Allah SWT yang hanya bisa dilihat dan disadari oleh orang-orang yang berfikir. Shihab (2009) dalam tafsir *Al-Misbah* menambahkan bahwa penciptaan tanaman memiliki banyak sekali kebaikan dan manfaat bagi makhluk hidup khususnya bagi manusia. Oleh karena itu, Allah SWT memerintah manusia agar mempergunakan akalanya dan selalu bertafakkur atas kekuasaan pencipta-Nya. Satu diantara bentuk syukur manusia sebagai makhluk yang diberi akal untuk berpikir, maka perlu mempergunakannya dengan bijak. Adapun bijak dalam berpikir merupakan salah satu jalan agar manusia dapat mengagungi kuasa Tuhan. Satu diantara bentuk kuasa-Nya yakni adanya kemampuan tanaman dalam meremediasi lingkungan dari polutan.

2.2 Pencemaran Air

Masuknya material, energi, makhluk hidup, atau komponen berbahaya yang mengubah air atau udara dikenal sebagai pencemaran atau polusi. Tanpa kita sadari, aktivitas manusia berpotensi menurunkan kualitas udara atau air sehingga menghambat fungsi aslinya (Machdar, 2018). Pencemaran air, sebaliknya, didefinisikan sebagai penyimpangan dari standar kualitas air (Kristanto, 2002). Salah satu masalah umum yang sering muncul di sungai dan badan air lainnya adalah pencemaran air. Menurut Widiyanto dkk. (2015), aktivitas manusia merupakan pendorong utama pencemaran air, dan pertumbuhan populasi memicu aktivitas ini secara kuadrat.

Saat ini, sebagian air yang berada di belahan dunia telah tercemar oleh limbah beracun dan berbahaya (Gambar 2.1). Pencemaran tersebut ditimbulkan dari kegiatan rumah tangga, industri, pertanian, maupun pertambangan yang mengakibatkan menurunnya kualitas air (Machdar, 2018). Menurut Sudarmaji dan Sudarmaja (2019), kualitas air mengacu pada seberapa cocok air tersebut untuk beberapa keperluan, antara lain untuk minum, irigasi, perikanan, rekreasi, industri, dan lain sebagainya. Air dengan kualitas buruk akan berdampak pada kualitas kegunaan dan memengaruhi organisme yang ada didalamnya. Ada salah satu ilustrasi pencemaran air permukaan. Sampah ini tidak sama dengan sampah organik, karena logam-logam seperti arsen (Ar), selenium, seng, mangan, timbal, merkuri, dan kadmium merupakan logam berat yang mudah diserap makhluk hidup sehingga perlu dihilangkan dari lingkungan (Okunowo *et al.*, 2010). Olguin dan Gloria (2012) mengklaim bahwa meskipun toksisitas dan bioakumulasi sulit dikarakterisasi di lingkungan, logam yang ditemukan di habitat perairan seperti

sungai, kolam, dan danau dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia serta ekosistem kehidupan lainnya.

Air limbah didefinisikan sebagai air bekas dari sumber komersial, industri, dan perumahan. Sesuai Pasal 116 Ayat 2b Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sektor domestik meliputi kegiatan pemukiman, perkantoran, kawasan komersial, dan kawasan lain yang sejenis yang menghasilkan air limbah domestik. Air limbah menurut Sulistia dan Septisya (2019) merupakan sisa cairan suatu usaha atau kegiatan. Air limbah domestik mempunyai konsentrasi bahan organik dengan kadar tinggi sehingga dapat menyebabkan peningkatan pencemaran lingkungan perairan dan menjadikan air limbah sebagai salah satu sumber utama pencemaran air (Widyarani *et al.*, 2022). Sebenarnya sumber utama air limbah adalah pembuangan sampah rumah tangga (Umar dkk., 2011).



Gambar 2.1 Pencemaran Lingkungan Perairan (Rahman *et al.*, 2023)

Volume air limbah industri yang keluar saat ini cukup tinggi dan bervariasi menurut jenis dan besarnya skala industri, pengawasan proses industri, jumlah air yang digunakan, dan tingkat pengolahan air limbah yang dilakukan saat ini (Belladona, 2017). Limbah cair, sampah padat, limbah gas, dan limbah (B3)

senyawa berbahaya dan beracun merupakan kategori limbah industri yang paling banyak jumlahnya (Alfakihuddin dkk., 2023). Polutan yang terdapat pada limbah industri antara lain logam berat, senyawa organik, garam organik. Menurut Alfakihuddin dkk. (2023), beberapa limbah industri menyebabkan kerusakan.

Limbah dari rumah bengkel konvensional diketahui juga ikut menjadi penyebab kerusakan lingkungan perairan. Bengkel konvensional juga menghasilkan berbagai jenis limbah terutama limbah cair seperti minyak pelumas bekas, minyak rem, pelarut atau pembersih, H_2SO_4 dari aki bekas, dan bahan bakar lain yang mengandung bahan kimia berbahaya (Arnoldi, 2009). Kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas bekas dapat dilihat pada Tabel 2.2. Kurangnya pengelolaan limbah yang dihasilkan dari rumah bengkel konvensional dan minimnya pengetahuan serta edukasi para pelaku usaha bengkel akan berakibat buruk bagi lingkungan sekitar, terutama lingkungan perairan yang rawan tercemar logam berat (Ariyanto, 2011).

Tabel 2.1 Kandungan logam dalam minyak pelumas bekas

Logam	Minyak Pelumas Bekas (mg/kg)	Logam	Minyak Pelumas Bekas (mg/kg)
Timbal (Pb)	138	Mangan (Mn)	1
Aluminium (Al)	4	Molibdenum (Mo)	7
Krom (Cr)	4	Silikon (Si)	11
Tembaga (Cu)	7	Boron (B)	3
Besi (Fe)	15	Natrium (Na)	13
Timah (Sn)	>1	Barium (Ba)	<1
Perak (Ag)	7	Kalsium (Ca)	1667
Nikel (Ni)	<1	Magnesium (Mg)	51
Vanadium (V)	<1	Phospor (P)	632
Titanium (Ti)	<1	Seng (Zn)	780
Cadmium (Cd)	<1		

Sumber: Hasyim, 2016

2.3 Logam Berat Timbal (Pb)

Logam berat timbal (Pb) merupakan logam berat yang terdapat secara alami di kerak bumi, timbal juga lebih mudah diperoleh melalui aktivitas manusia; faktanya, timbal yang diproduksi manusia melebihi timbal alami sebesar 300 kali lipat (Pratama, 2012). Logam Pb dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,19 g/mol merupakan anggota golongan unsur transisi periode keenam (IV A). Senyawa galena (PbS), anglesite (Pb_3SO_4), minim (Pb_3O_4), dan cerrusite (PbCO_3) mengandung unsur ini. Logam timbal murni (Pb) belum pernah ditemukan (Palar, 2008).

Logam timbal (Pb) dapat digunakan sebagai pelapis logam lain untuk memperlambat proses korosi karena memiliki titik leleh yang rendah, mudah dibentuk, dan mempunyai sifat kimia yang aktif. Pb akan bergabung dengan logam lain sehingga menghasilkan logam campuran yang lebih padat dibandingkan logam individualnya (Darmono, 2001). Selain itu, kaleng, keramik, tembikar, dan pestisida dilapisi dengan logam timbal. Logam tetraetil Pb diperkenalkan ke bensin pada abad ke-20 sebagai bahan tambahan oktan dan anti ketukan. Pb-arsenat, suatu bentuk logam Pb beracun, ditemukan dalam limbah industri metalurgi. Logam Pb kadang-kadang dapat ditemukan dalam bentuk kompleks dengan bahan organik seperti tetra alkil timbal (TAL) dan heksaetil timbal (HEXAEL) (Morganof, 2003).

Timbal, yang sering disebut dengan keracunan timbal, dapat membahayakan seluruh sistem dan organ tubuh. Tubuh manusia yang sehat dapat memetabolisme 1-2 miligram timbal setiap hari. Menurut Darmono (2001), timbal merupakan neurotoksik yang dapat membahayakan otak. Keracunan Timbal (Pb) dapat mengakibatkan efek toksik akut dan kronis pada otak, ginjal, sistem reproduksi,

sistem saraf pusat, hati, dan organ lainnya, serta penyakit yang mengancam jiwa atau bahkan kematian (Adhani dan Hursaini, 2017). Darmono (2001) menambahkan bahwa anak yang mempunyai penumpukan Pb dalam tubuhnya akan meninggal dan mengalami degenerasi mental dini.

Logam timbal (Pb) yang dipanaskan hingga suhu 500–600°C akan menguap dan melepaskan oksigen ke atmosfer dalam bentuk timbal oksida (PbO). Logam timbal (Pb) dalam perairan yaitu mudah larut dalam air, sulit untuk terdegradasi, mengendap di dalam sedimen, dan dapat terakumulasi dalam biota perairan (Cahyani dan Djamar, 2016). Diketahui bahwa timbal dapat mencemari tanah, air, udara, tumbuhan, hewan, dan bahkan manusia. Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernapasan dan makanan yang berasal dari tumbuhan yang biasa dimakan manusia, seperti nasi, teh, dan sayuran (Rahardiyanto dkk., 2017). Konsumsi timbal berlebihan berbahaya khususnya pada jaringan mukosa.

Karena logam timbal berbahaya dalam jumlah kecil, timbal merupakan polutan paling umum di air dan seringkali tidak diperlukan oleh biota perairan. Jika tanah sangat asam, pencemaran timbal tidak akan terurai di dalam tanah. Pb akan terakumulasi di tempat pertukaran seperti permukaan tanah dan akar. Ketika kapasitas tukar kation di dalam tanah buruk dan terdapat bahan organik, tanaman dapat menyerap logam timbal. Akar tanaman akan menyerapnya jika tanaman tidak mampu menekan keberadaannya (Amelia dkk., 2015).

Maraknya industri diberbagai sektor yang memanfaatkan timbal (Pb) sebagai salah satu bahan campuran menyebabkan konsentrasi di dalam lingkungan semakin meningkat. Limbah timbal yang diakumulasi oleh tanaman akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan menjadi penghambat bagi tanaman dalam menyerap

hara atau bahkan berujung pada kematian tanaman (Robertina, 2014). Logam Pb yang melebihi batas maksimum akan menyebabkan penurunan kualitas perairan dan bersifat bahaya bagi biota yang ada di dalamnya (Syafriiliansyah dan Purnomo, 2022). Oleh karenanya, perlu dilakukan fitoremediasi sebagai upaya pemurnian perairan dari cemaran logam timbal (Adesuyi *et al.*, 2018)).

2.4 Fitoremediasi

2.4.1 Definisi Fitoremediasi

Penggunaan tanaman dan mikroba tanah untuk mengurangi konsentrasi atau efek berbahaya dari polutan di lingkungan dikenal sebagai fitoremediasi. Fitoremediasi yang mengacu pada penanganan permasalahan lingkungan (bioremediasi) dengan menggunakan tumbuhan untuk mengurangi permasalahan lingkungan tanpa perlu menggali kontaminan dan membuangnya di tempat lain, berasal dari kata Yunani Kuno *remedium* yang berarti “sayuran/tanaman”. dan kata latin *remedium* yang berarti “memulihkan keseimbangan atau perbaikan” (Rondonuwu, 2014). Pemanfaatan tanaman, seperti pohon, rerumputan, dan tanaman air, untuk menghilangkan atau menguraikan polutan berbahaya organik dan anorganik dari lingkungan disebut fitoremediasi (Kenneth *et al.*, 2002).

Meskipun teknologi ini masih tergolong baru di Indonesia, teknologi ini telah digunakan secara komersial di negara lain seperti Amerika Serikat dan Eropa untuk fitoremediasi. Kemampuan tumbuhan air dan semiakuatik telah lama diketahui dalam menyerap logam berat dari larutan yang terkontaminasi, termasuk timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd), besi (Fe), dan merkuri (Hg). Contoh tumbuhan tersebut adalah *Ipomoea Aquatica*, *Eichhornia crassipes*, *Hydrocotyle umbellata*,

Limnocharis flava, *Lemna minor*, dan *Azolla pinnata*. Beberapa konstruksi lahan basah kini menggunakan kemampuan fitoremediasi tanaman, yang mungkin lebih berhasil dalam menghilangkan beberapa logam berat dari lingkungan perairan, seperti bahan organik (González *et al.*, 2021).

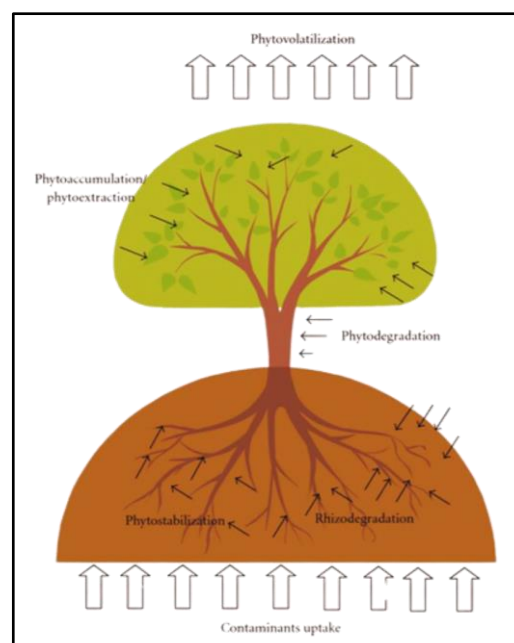
Setiap tanaman memiliki metabolisme yang unik, tingkat penguapan, dan metode akumulasi polutan, tidak semua tanaman dapat digunakan sebagai akumulator lingkungan yang terkontaminasi. Oleh karena itu, sebelum menerapkannya di habitat aslinya, perlu dilakukan identifikasi tanaman yang dimanfaatkan sebagai akumulator. Penggunaan tanaman, metode, dan kombinasi yang berbeda itu tergantung pada jenis, bentuk, dan media kontaminan yang ingin di serap oleh tanaman (Kafle *et al.*, 2022). Tanaman yang digunakan harus mempunyai sifat cepat tumbuh dan berkembang pada kondisi lingkungan tercemar, memiliki kemampuan untuk menyerap, mengakumulasi, atau mendegradasi polutan, mampu meremediasi lebih dari satu polutan, memiliki nilai ekonomis, dan memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap polutan (Morel *et al.*, 2006).

Keunggulan ramah lingkungan, biaya operasional yang relatif rendah, dan mampu menjaga kualitas lingkungan lebih baik, maka metode fitoremediasi lebih sering dipilih dan dikembangkan di antara metode lain yang dapat digunakan untuk memulihkan lingkungan yang tercemar. Lebih dari seribu spesies tanaman hingga saat ini telah diselidiki potensinya sebagai senyawa organik dan bioakumulator polutan logam berat (Shukla *et al.*, 2010). Fahrudin (2010) menambahkan bahwa fitoremediasi yang menggunakan pepohonan, tanaman pangan, dan tanaman berbunga merupakan cara yang murah dan efisien untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang dapat diterapkan langsung di kawasan yang tercemar.

Kelemahan metode fitoremediasi ini adalah diperlukan beberapa musim tanam untuk menghilangkan kontaminan dari suatu lingkungan secara menyeluruh. Kelemahan lain dari metode ini adalah memerlukan penanganan khusus terhadap biomassa yang dihasilkan karena mengandung kontaminan. Selain itu, terbatasnya jangkauan akar ke dalam tanah mencegahnya mencapai kontaminan yang terkubur terlalu dalam. Terakhir, kimia tanah, jumlah kontaminan, dan kondisi iklim lingkungan dapat berdampak pada pertumbuhan tanaman (Tangahu *et al.*, 2011).

2.4.2 Mekanisme Fitoremediasi

Fitoremediasi memiliki beberapa mekanisme dalam menyerap polutan atau efek racun kontaminan yang terdapat di lingkungan. Tangahu *et al.* (2011) menyatakan bahwa fitoremediasi meliputi *phytoextraction* atau *phytoaccumulation*, *phytofiltration*, *phytostabilization*, *phytovolatilization*, *rhizodegradation*, *phytodesalination* dan *phytodegradation* (Gambar 2.2). Perbedaan teknik-teknik ini akan dijelaskan lebih terperinci sebagai berikut:



Gambar 2.2 Mekanisme Fitoremediasi Tanaman dalam Menyerap Polutan
(Tangahu *et al.*, 2011)

a. *Phytoextraction*

Phytoextraction disebut juga fitoakumulasi, yaitu proses mengekstraksi tanin dari air atau udara dengan menggunakan akar tanin kemudian memindahkan molekul tanin tersebut ke permukaan molekul tanin, yaitu tuna. Teknik ini sangat berguna untuk menghilangkan kontaminan dari air, lumpur, dan tanah.

b. *Phytofiltration*

Phytofiltration, khususnya proses penggunaan tanaman untuk menghilangkan kontaminan dari air yang terkontaminasi atau permukaan air yang tercemar. Cara ini dapat diterapkan pada biji-bijian (blastofiltrasi), akar tanaman (rhizofiltrasi), atau pucuk tanaman yang dicincang (caulis adalah bahasa latin untuk pucuk). Untuk mengurangi jumlah racun yang berpindah melalui air tanah, pendekatan fitofiltrasi menggunakan tanaman untuk menyerap atau menyerap polutan.

c. *Phytostabilization*

Phytostabilization adalah proses menstabilkan polutan dari air yang terkontaminasi dengan menggunakan berbagai tanaman. Dengan menurunkan mobilitas dan aktivitas biologis polutan di lingkungan, pendekatan ini menghentikan naiknya kontaminan ke permukaan air. Menurut Hammond dkk. (2018), tumbuhan memiliki kemampuan menghilangkan logam berat dari air hingga titik jenuhnya. Hal ini dicapai melalui berbagai mekanisme, termasuk penyerapan dari akar, pengendapan dan pengumpulan valensi logam tereduksi di rhizosfer dengan bantuan eksudat fitokimia, penangkapan permukaan akar dengan bantuan protein transpor, dan sekuestrasi dalam vakuola sel akar.

d. *Phytovolatilization*

Phytovolatilization, yaitu teknik fitoremediasi dimana tanaman mengambil polutan dari tanah, mengubahnya melalui penguapan, dan kemudian melepaskannya ke atmosfer. Metode ini dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan organik serta logam berat tertentu seperti selenium dan merkuri. Namun penerapannya dibatasi oleh fakta bahwa metode ini hanya memindahkan polutan dari satu lokasi (tanah) ke lokasi lain (atmosfer), sehingga polutan tersebut dapat terakumulasi kembali, bukan menghilangkannya secara total. Kapasitas penyerapan dan penguapan logam tertentu diperlukan untuk proses fitovolatilisasi (Nadhila dan Titah, 2021).

e. *Rhizodegradation*

Rhizodegradation, yaitu teknik penguraian dan penghilangan polutan organik pada tanah dengan memanfaatkan adanya aktivitas mikroorganisme di sekitar akar tanaman atau rizosfer. Beberapa mikroba yang hidup secara sinergis pada permukaan akar tanaman akan membentuk metabolisme dan mendegradasi kontaminan organik..

f. *Phytodesalination*

Phytodesalination, merupakan proses fitoremediasi di mana tanaman menggunakan tanah yang terlalu asin sebagai bahan penghilang garam untuk membantu tanaman tumbuh dengan baik kembali. Bagi tanaman yang rentan terhadap cekaman garam, cekaman salinitas yang berlebihan dapat berdampak buruk. Bahkan dapat mengakibatkan dehidrasi dan mengubah fisiologi tanaman (Arif *et al.*, 2020).

g. *Phytodegradation*

Phytodegradation adalah proses dimana tanaman mengurangi polutan organik dengan bantuan enzim seperti oksigenase dan dehalogenase, yang tidak bergantung pada mikroba yang berhubungan dengan rhizosfer. Karena logam berat tidak dapat terbiodegradasi, fitodegradasi hanya menghilangkan sedikit kontaminan anorganik. Para peneliti kini lebih memperhatikan metode ini dalam upaya mengurangi berbagai kontaminan organik, seperti pestisida sintetis dan herbisida.

2.5 Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

2.5.1 Klasifikasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Klasifikasi tanaman kangkung air menurut Plantamor (2023) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Asteridae
Ordo	: Solanales
Famili	: Convolvulaceae
Genus	: <i>Ipomoea</i>
Spesies	: <i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.

2.5.2 Deskripsi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Kangkung air (*Ipomoea aquatica*) sering dikenal dengan sebutan kangkung, merupakan tanaman air asli India, Cina Tenggara, dan Asia Tenggara. *Ipomoea Aquatica*, biasa disebut kangkung dalam bahasa Inggris, merupakan tanaman hijau merambat yang termasuk dalam famili herba. Pertumbuhan spesies tanaman ini difasilitasi oleh suhu di atas 25°C. Tumbuhan ini dapat mengapung di rawa berlumpur dan sungai dan banyak ditemukan di dalamnya (Gambar 2.3). Tepian sungai, danau, parit, dan perairan lain yang tidak terlalu dalam atau terlalu dangkal merupakan tempat yang baik untuk tumbuhnya kangkung (Hapsar *et al.*, 2018).

Ciri-ciri kangkung air antara lain adalah tanaman berwarna hijau tua, menyebar dari batang hingga ke akar. *Ipomoea aquatica* mempunyai morfologi sebagai berikut: akar, batang, daun, dan bunga. Tanaman kangkung memiliki sistem akar tunggang, atau radix, yang kompak atau berongga, berkayu atau lunak, berukuran kecil hingga sedang, dengan banyak akar bercabang berbentuk kerucut atau filiform dan berwarna putih kecoklatan, kuning kecoklatan, atau kotor. kuning. Akar kangkung memiliki diameter 1-3 mm dan panjang 15-40 cm (Suratman dkk., 2000). Batang kangkung berbentuk berongga, bulat, dan berwarna hijau hingga hijau kecoklatan. Mereka mempunyai buku-buku dan sangat larut dalam air (herba), dan akar mudah muncul dari buku-buku itu. Cabangnya banyak, dan seiring bertambahnya usia, batangnya akan berubah warna dari bergetah menjadi bening menjadi putih kabur (Suryani, 2017).

Selain tangkai dan helaian daun, daun kangkung juga mempunyai pulvinus yang tidak jelas. Pangkal daun yang panjang, berujung tumpul, melengkung, tepi rata, duri menyirip, permukaan daun halus, dan lebar bilah bervariasi 5-7 x 2-5 cm

menjadi ciri khas daun kangkung air. Bunga *Ipomoea Aquatica* berwarna putih polos atau putih ungu, aktinomorfik, dan berbentuk lonceng. memiliki satu gynoecium dengan dua hingga tiga ruas, lima sepal terhubung, dan lima benang sari tersusun melingkar. Sedangkan kelopak yang berdekatan membentuk bentuk lonceng yang dipisahkan menjadi limbus dan mahkota/tubus, sedangkan sepal yang terkait membentuk tabung kecil (Suratman dkk., 2000).

Kangkung merupakan salah satu jenis tanaman yang mampu menyerap semua unsur yang terdapat dalam tanah maupun air karena tidak selektif dalam penyerapan unsur hara. Logam berat dan kontaminan lainnya dapat diserap oleh kangkung dari media tanamnya. Oleh karena itu, besar kemungkinan tanaman kangkung akan menyerap zat pencemar berupa logam berat (Sunardi dkk., 2013).



Gambar 2.3 Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)
(Sunardi dkk., 2013)

Lestari (2013) menjelaskan bahwa kangkung air atau *Ipomoea Aquatica* mempunyai kemampuan meningkatkan sifat kimia dan fisik limbah rumah tangga. Tiap organ tanaman menyerap konsentrasi logam Pb dan Cd secara berbeda pada kangkung. Organ akar, daun, dan batang memiliki konsentrasi logam berat tertinggi.. Penelitian lain yang dilakukan oleh Najwa dkk. (2023) menyatakan

bahwa tanaman kangkung air dapat digunakan untuk mengolah air limbah industri tahu. Kangkung air dapat menyerap polutan-polutan dalam air limbah, seperti BOD yang awalnya 150,00 mg/L menjadi 107,14 mg/L, kandungan COD yang awalnya 200,00 mg/L menjadi 134,28 mg/L. Selanjutnya kandungan TSS yang awalnya 100,00 mg/L menjadi 72,14 mg/L, dan NH₃-N yang awalnya 20,00 mg/L menjadi 12,14 mg/L. Metode ini lebih ramah lingkungan dibanding metode pengolahan lain.

2.6 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)

2.6.1 Klasifikasi Genjer (*Limnocharis flava*)

Klasifikasi tanaman genjer menurut Plantamor (2023) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Subkelas	: Alismatidae
Ordo	: Alismatales
Famili	: Limnocharitaceae
Genus	: Limnocharis
Spesies	: <i>Limnocharis flava</i> L.

2.6.2 Deskripsi Genjer (*Limnocharis flava*)

Salah satu tanaman liar yang dapat tumbuh subur di kolam berlumpur atau rawa yang banyak terdapat perairan terbuka adalah tanaman genjer (*Limnocharis*

flava) (Isa dkk., 2014). Tanaman genjer merupakan salah satu spesies tanaman air yang ditemukan di seluruh daratan Asia. Di Indonesia tanaman genjer tersebar luas di pulau Jawa dan Sumatera. Di Pulau Jawa, Indonesia, tanaman genjer banyak ditemukan di dataran rendah bagian barat yang ketinggian daratannya bisa mencapai ± 1300 meter di atas permukaan laut (Nuarisma, 2012).

Genjer tumbuhan air tumbuh subur di lingkungan lembab dan basah sebelum muncul ke permukaan (Gambar 2.4). Menurut Heyne (1987), tanaman genjer mempunyai tinggi berkisar 30-80 cm dan dapat hidup ± 1 tahun. Daun tanaman genjer berbentuk seperti telur, panjang 7,5–27 cm, dan berwarna hijau muda. Daunnya tersusun atas tiga sisi, salah satunya berpori air dan memiliki pinggiran berwarna keunguan didekat bagian belakang ujung daun. Batang daun genjer tinggi, tebal, dan penuh. Penampilan tanaman *L. flava* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) (Fitria, 2015)

Tanaman genjer dapat berkembang biak melalui biji maupun secara vegetatif. Hal ini menjelaskan mengapa genjer dapat menyebar dengan cepat dan berubah menjadi gulma. Jika kelembapan cukup, *Limnocharis flava* akan mekar setiap

tahun. Selain itu, genjer dapat berubah menjadi tanaman tahunan pada situasi dimana kelembapan bervariasi secara musiman (DPIF, 2007)

Tanaman yang disebut genjer ini biasa dicampurkan ke dalam pakan bebek oleh para petani. Selain itu, genjer juga sering digunakan sebagai bahan masakan yang menggugah selera seperti tumisan dan lalapan oleh masyarakat Jawa, khususnya di Jawa Barat dan Timur. Selain itu, tanaman genjer dan kangkung air biasanya ditemukan bersamaan (Nuarisma, 2012). Selain itu, genjer diketahui sebagai tanaman dengan nilai gizi dan aktivitas antioksidan yang kuat. Selain itu, menurut beberapa penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Avlenda (2009) dan Thuraidah (2016), Genjer efektif menurunkan kadar BOD, COD, DO, TSS, sulfat, dan fosfat pada perairan yang terkontaminasi limbah. Dalam penelitiannya, mereka menggunakan dua variasi (berdasarkan variasi jenis dan komposisi tanaman, seperti kangkung saja, genjer saja, atau kombinasi keduanya; yang lainnya berdasarkan variasi kadar limbah yang digunakan).

2.7 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Pb oleh Tanaman

Tanaman memiliki beberapa mekanisme dalam menyerap kontaminan berupa logam berat (Irhamni dkk., 2017), yaitu sebagai berikut:

a. Penyerapan oleh akar

Akar tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap logam dari lingkungannya. Logam yang tidak larut dalam air akan terserap melalui permukaan akar, sedangkan logam terlarut akan terserap bersama air. Molekul yang berbeda mengatur proses penyerapan logam berat dari media tanam ke vakuola dalam sel tanaman (Hazrat *et al.*, 2013). Tanaman akan menghasilkan enzim reduktase pada

membran akarnya ketika menyerap logam berat Pb. Logam berat direduksi oleh enzim ini dan kemudian diambil oleh sel melalui jalur unik di daerah membran akar (Kavoosi *et al.*, 2014).

b. Translokasi logam menuju bagian organ lain

Setelah diambil oleh akar dan masuk ke dalam sel akar, logam Pb akan berpindah secara apoplastik dan simplastik melalui jaringan pembuluh (xilem) ke daerah lain. Selain itu, setelah adanya aliran transpirasi, logam-logam yang berhasil melewati jaringan endodermis akar akan berpindah ke organ tanaman lain, khususnya melalui arteri xilem (Saxena dan Misra, 2010). Selanjutnya, floem mengangkutnya ke seluruh organ tumbuhan, di mana ia disimpan dalam vakuola (Advinda, 2018).

c. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan tertentu

Vakuola merupakan tempat penyimpanan sebagian besar logam berat Pb yang diserap oleh akar tanaman. Hal ini menjaga logam agar tidak mengganggu fungsi metabolisme sel. Salah satu cara tanaman menghindari keracunan logam adalah dengan memurnikan logam dan menyimpannya di organ tertentu, seperti akar. Organel seluler dengan aktivitas metabolisme minimal disebut vakuola. Salah satu metode untuk menghilangkan kelebihan ion logam dari sitosol dan meminimalkan gangguannya terhadap proses metabolisme sel adalah penyimpanan logam berat dalam vakuola (Suryadi dkk., 2017).

Jika media memiliki lebih sedikit bahan organik, maka tanaman akan lebih banyak menyerap logam timbal (Pb) dari media tersebut (Hidayati, 2005). Hal ini disebabkan logam Pb lebih mudah larut dalam air sebagai ion. Timbal sulit larut dan tidak dapat berpindah dari akar ke organ lain. Inilah alasan mengapa akar

tanaman mengalami peningkatan akumulasi logam timbal (Pb) (Kopittke *et al.*, 2007). Senyawa kompleks terbentuk selama penyerapan timbal oleh tanaman dari akar hingga ke atas. Menurut Thakur dkk. (2016), molekul kompleks ini memfasilitasi masuknya timbal ke dalam jaringan tanaman.

Logam Pb dapat diserap oleh akar tanaman melalui jalur apoplastik dan simplastik yang merupakan dua jalur utama. Menurut Jiang *and* Liu (2010), Pb bergerak melalui jalur apoplastik, yang melewati dinding sel dan ruang antar sel, dan jalur simplastik, yang melewati membran plasma dan sitoplasma sel. Karena pita kaspary di endodermis mencegah penyerapan timbal, timbal menumpuk di sel akar (Kopittke *et al.*, 2007).

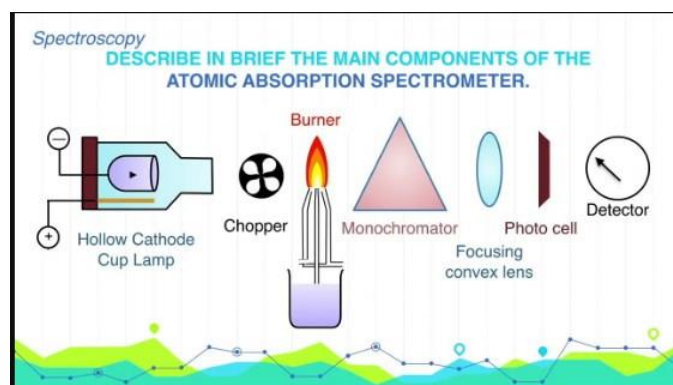
2.8 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Teknik analisis AAS atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* merupakan cara yang sangat sensitif dan akurat dalam menentukan kadar total unsur logam dalam suatu sampel, atau bahkan pada jumlah yang kecil dalam bentuk larutan. Teknik ini tidak bergantung pada bentuk molekul logam yang diuji, akan tetapi menyajikan data berupa kadar total unsur logam dalam sampel (Gandjar, 2007). AAS memiliki beberapa keunggulan yakni, mudah digunakan, memiliki sensitivitas tinggi, cepat, menyeluruh, dan tidak memerlukan pemisahan elemen logam yang akan diuji (Wahidin, 2010).

Metode analisis unsur logam dan metaloid yang didasarkan pada penyerapan radiasi oleh atom bebas menggunakan alat yang disebut Spektrofotometer Serapan Atom atau disingkat alat SSA. Sampel anorganik dapat dianalisis menggunakan metode AAS. Metode dimana atom pada keadaan dasar energi menyerap energi

menjadi dasar operasi analisis ini. Elektron pada kulit atom akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (keadaan tereksitasi) setelah energi ini diserap. Elektron dari atom-atom yang tereksitasi bebas ini menjadi tidak stabil akibat proses penyerapan radiasi dan akan kembali ke keadaan semula seiring dengan menghasilkan energi radiasi, yang memancarkan panjang gelombang dan karakteristik tertentu untuk setiap unsur (Gunanjar, 1997).

Panjang gelombang yang paling umum digunakan dalam analisis logam berat pada instrumen AAS adalah 217 nm dan 324,7 nm. Garis transisi elektronik dari keadaan dasar menuju keadaan tereksitasi dapat menyerap panjang gelombang ini dengan paling kuat (Pambudi & Suprpto, 2018).



Gambar 2.5 Instrumen Atomic Absorption Spectrometer (AAS)
(Sentra Kalibrasi Industri, 2022)

Instrumen AAS terdiri dari beberapa komponen penting, satu diantaranya yakni lampu katoda berbentuk silinder yang dilapisi logam tertentu (Gambar 2.5). Lampu ini memiliki fungsi untuk menghasilkan polikromatik yang kemudian difilter oleh monokromator menjadi cahaya monokromatik. Cahaya monokromatik ini kemudian dilewatkan pada sampel yang akan diuji. Cahaya yang diserap oleh sampel kemudian diperkuat oleh penguat sehingga dapat dibaca oleh detektor. Sinyal yang dihasilkan oleh detektor kemudian direkam oleh perekam untuk

dianalisis lebih lanjut. Menurut Noriyanti (2012), semua sinar yang tidak diserap oleh sampel akan dilewati dan dicatat. Adapun kelemahan dari teknik analisis AAS adalah tidak semua unsur dapat menghasilkan uap atom dalam kondisi nyala api sehingga tidak dapat dianalisis dengan metode ini (Manuhutu, 2009).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 kali ulangan. Perlakuan menggunakan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*), genjer (*Limnocharis flava*), dan kombinasi keduanya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel kontrol meliputi jenis tanaman, jumlah tanaman, biomassa tanaman, volume air, berat tanah sawah, konsentrasi logam berat, dan lama waktu remediasi.
- b. Variabel bebas meliputi variasi tanaman yang digunakan.
- c. Variabel terikat meliputi kemampuan tanaman (daya penurunan logam).

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 hingga bulan Mei 2024 di *Green House* UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Kimia Organik, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Sampel tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Bureng, Desa Sukosari, Kecamatan Gondanglegi, Kabupaten Malang.

3.4 Alat dan Bahan

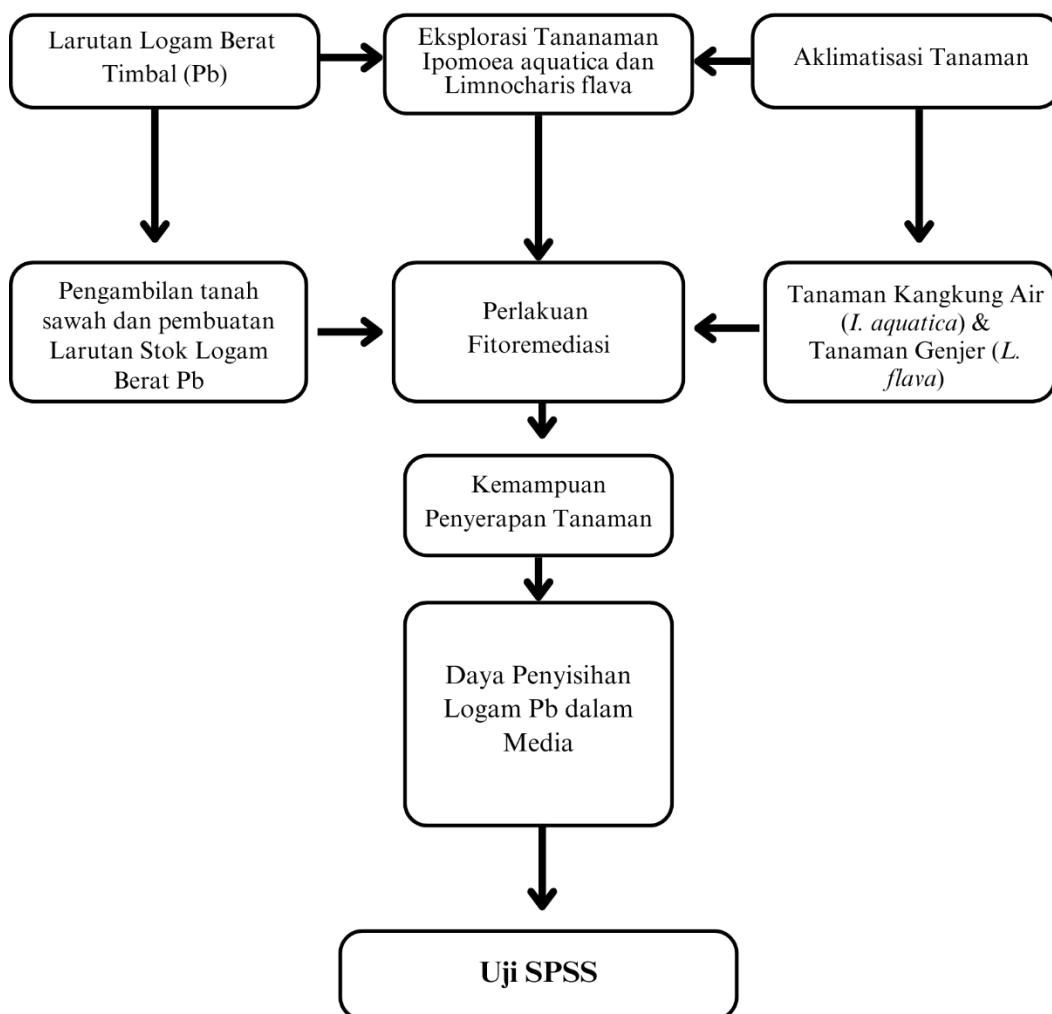
3.4.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor *batch* sebanyak 12 buah dengan panjang 38 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 12 cm, alat tulis, kertas label, penggaris, *cutter*, gunting stek, gelas ukur, gelas piala, kaca arloji, gelas takar, spatula, batang pengaduk, pipet volumetrik, pipet ukur bulb, corong gelas, corong pemisah, erlenmeyer, labu ukur, labu semprot, mikro buret, kertas saring *whattman*, pemanas listrik, *magnetic stirrer*, *digestion vessel*, *heating block*, botol sampel, aluminium foil, pH meter, TDS meter, timbangan digital, kamera, tabung sentrifugasi 15 ml, dan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk timbal $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, asam nitrat (HNO_3) pekat, air sumur (Sumur bor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang), aquades, tanah sawah, tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*), dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*).

3.5 Kerangka Penelitian



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian Fitoremediasi

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Penentuan Konsentrasi Pencemar

Penelitian ini menggunakan media berupa air sumur dan tanah sawah yang secara alami sudah mengandung Pb dengan konsentrasi tertentu. Dalam penelitian ini, juga ditambahkan Pb sintetis dengan konsentrasi 0,5 mg/L. Selanjutnya, proses penentuan konsentrasi maksimum yang bertujuan untuk mendapatkan nilai maksimum dari tanaman uji sehingga mampu beradaptasi, bertahan hidup, dan

mampu mengurangi konsentrasi polutan logam Pb dari minyak pelumas bekas. Penentuan konsentrasi maksimum mengikuti hasil penelitian sebelumnya Nadeak dkk. (2015) dan Mangesti dkk. (2019) yang dimodifikasi. Konsentrasi logam timbal yang akan ditambahkan pada setiap reaktor yaitu 0,5 mg/L. Untuk menentukan dan menghitung senyawa logam $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang akan ditambahkan dalam reaktor dengan kapasitas 5 liter air, digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

Menghitung $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

$$\begin{aligned}
 \text{Mr Pb}(\text{NO}_3)_2 &= \text{Ar Pb} &&= 207 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\
 &= \text{Ar N}_2 : 14 \times 2 = 42 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\
 &= \text{Ar O}_6 : 16 \times 6 = 96 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\
 \text{Mr Pb}(\text{NO}_3)_2 &= 345 \text{ gr/mol} \\
 \text{Massa Pb}(\text{NO}_3)_2 &= \text{Stok Pb} \times \frac{\text{Mr Pb}(\text{NO}_3)_2}{\text{Ar Pb}} \times \text{Volume Stok} \\
 &= 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{345 \text{ gr/mol}}{207 \text{ gr/mol}} \times 1 \text{ liter} \\
 &= 166,667 \text{ mg} \\
 &= 0,167 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Jadi massa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan untuk membuat larutan Pb 100 mg/L dalam 1 liter air adalah 0,167 g.

Untuk membuat larutan timbal (Pb) sintetik dengan kadar 0,5 mg/L menggunakan air sebesar 5 liter dapat menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 M1 \times V1 &= M2 \times V2 \\
 100 \text{ mg/L} \times V1 &= 0,5 \text{ mg/L} \times 5 \text{ L} \\
 &= 0,025 \text{ L} \\
 &= 25 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

M1 = Konsentrasi larutan induk

V1 = Volume larutan induk

M2 = Konsentrasi larutan yang diinginkan

V2 = Volume larutan dalam reaktor

Sehingga didapatkan volume larutan Pb sintetik yang dapat ditambahkan ke dalam 5 L air pada setiap reaktor adalah 25 ml.

3.6.2 Aklimatisasi Tanaman

Tanaman kangkung air (*I. aquatica*) dan tanaman genjer (*L. flava*) yang akan digunakan pada penelitian ini harus melewati tahap aklimatisasi. Tahap aklimatisasi bertujuan agar tanaman uji dapat tumbuh serta beradaptasi dengan baik dan tidak sampai mengalami kematian karena kondisi dari air yang telah terkontaminasi oleh bahan pencemar. Preparasi tanaman kangkung air dan tanaman genjer dikoleksi dari aliran sungai Bureng, Desa Sukosari, Kecamatan Gondanglegi yang selanjutnya akan diaklimatisasi di *Green House* UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Proses aklimatisasi tanaman kangkung air (*I. aquatica*) adalah sebagai berikut:

- 1) Disiapkan media tanam berupa air sumur sebanyak 5 Liter pada setiap reaktor, lalu dimasukkan tanaman kangkung air ke dalam media tanam (air) sebanyak 200 gram pada reaktor P1 (Perlakuan-1) dan 100 gram pada reaktor P3 (Perlakuan-3). Sebelum diaklimatisasi, tanaman uji terlebih dahulu dibersihkan dari lumpur dengan air mengalir agar bersih. Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari (Fitria, 2015).
- 2) Pemilihan kangkung air yang segar dengan kriteria tanaman setiap rumpun berukuran seragam dan memiliki daun berwarna hijau.
- 3) Setelah hari ke-7 aklimatisasi, tanaman kangkung air siap untuk menjadi bakal tanaman uji.

Proses aklimatisasi tanaman genjer (*L. flava*) adalah sebagai berikut:

- 1) Disiapkan media tanam berupa air sumur sebanyak 5 Liter pada setiap reaktor, lalu dimasukkan tanaman genjer ke dalam media tanam (air) sebanyak 200 gram pada reaktor P2 (Perlakuan-2) dan 100 gram pada reaktor P3 (Perlakuan-3). Sebelum diaklimatisasi, tanaman uji terlebih dahulu dibersihkan dari lumpur dengan air mengalir agar bersih. Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari (Fitria, 2015).
- 2) Pemilihan genjer yang segar dengan kriteria tanaman setiap rumpun berukuran seragam dengan warna daun dan batang genjer yang digunakan harus berwarna hijau segar.
- 3) Setelah hari ke-7 aklimatisasi, tanaman genjer siap menjadi bakal tanaman uji.

3.6.3 Persiapan Fitoremediasi

Tanaman kangkung air (*I. aquatica*) dan tanaman genjer (*L. flava*) yang telah melalui tahap aklimatisasi selama 7 hari akan masuk ke dalam tahap persiapan fitoremediasi. Beberapa persiapan yang perlu dilakukan yaitu mempersiapkan alat dan bahan untuk mendukung penelitian. Menambahkan tanah sawah sebanyak 1 kg sebagai substrat atau sedimen dengan penambahan konsentrasi logam timbal (Pb) yakni sebanyak 0,5 mg/L atau sebanyak 25 ml pada setiap reaktor dengan kapasitas 5 liter air. Rincian perlakuan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

1. K : Perlakuan kontrol (reaktor yang berisi tanah sawah dan penambahan larutan logam timbal 0,5 mg/L tanpa tanaman uji)
2. P₁ : Perlakuan ke-1 (reaktor yang berisi tanah sawah, larutan logam timbal 0,5 mg/L, dan tanaman *Ipomoea aquatica* sebanyak 200 gram)
3. P₂ : Perlakuan ke-2 (reaktor yang berisi tanah sawah, larutan logam timbal 0,5 mg/L, dan tanaman *Limnocharis flava* sebanyak 200 gram)

4. P₃ : Perlakuan ke-3 (reaktor yang berisi tanah sawah, larutan logam timbal 0,5 mg/L, dan kombinasi tanaman antara *I. aquatica* sebanyak 100 gram dan *L. flava* sebanyak 100 gram)

Kemudian, aduk media secara perlahan sampai larutan homogen. Setelah itu, masukkan tanaman uji yang telah ditentukan pada setiap reaktor.

3.6.4 Pelaksanaan Fitoremediasi

Tahap pelaksanaan penelitian fitoremediasi ini menggunakan sistem *batch*, dimana penelitian ini dilakukan tanpa adanya pengeluaran air dari reaktor selama pelaksanaan penelitian. Pengamatan fitoremediasi dilakukan selama 15 hari (Yuliana dkk., 2013) dengan pengukuran suhu, pH, dan TDS pada media tanam yang dilakukan setiap 3 hari setelah pemberian sedimen berupa tanah sawah dengan tambahan larutan Pb sintetis. Sementara itu, pengujian logam Pb dalam media tanam dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 setelah pemberian sedimen berupa tanah sawah dan tambahan logam berat Pb.

3.6.5 Pengamatan Perlakuan

Pada penelitian ini observasi dilakukan dengan melihat kemampuan tanaman seperti kemampuannya dalam menyisihkan logam Pb. Terkait beberapa parameter yang diamati pada penelitian ini secara rinci adalah sebagai berikut:

3.6.5.1 Pengukuran Pada Media

a. Kadar Pb dalam Media

Pengukuran kadar Pb dalam media diukur berdasarkan SNI 6989.46:2009. Kadar Pb dalam media dapat diukur dengan cara berikut:

- Siapkan sampel uji sebanyak 100 ml dari masing-masing perlakuan
- Masukkan sampel uji sebanyak 50 ml ke dalam gelas piala 100 ml

- Tambahkan 5 ml HNO₃ pekat, lalu tutup dengan kaca arloji
- Panaskan perlahan-lahan sampai volumenya tersisa 15 ml – 20 ml
- Apabila destruksi belum sempurna, maka tambakan 5 ml HNO₃ pekat dan panaskan lagi hingga mendidih. Lakukan proses ini secara berulang sampai didapatkan semua logam larut atau contoh uji terlihat jernih
- Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala
- Saring larutan menggunakan kertas saring *whattman*
- Pindahkan sampel uji masing-masing ke dalam labu ukur 50 ml
- Sampel uji siap dikur nilai absorbansinya

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

Perhitungan daya penyisihan logam timbal (Pb) pada penelitian ini berdasarkan pada penurunan kadar zat pencemar dalam media (mg/L) dengan memanfaatkan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan genjer (*Limnocharis flava*) dalam kurun waktu 15 hari. Berikut rumus yang dapat digunakan menurut Yuliana dkk. (2013) sebagai berikut:

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

Keterangan:

A : Konsentrasi awal zat pencemar dalam air

B : Konsentrasi akhir zat pencemar dalam air

3.7 Analisis Data

Data hasil daya penyisihan konsentrasi logam Pb (*Removal Efficiency*) diolah dengan menggunakan *software Ms Excel 2019*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Daya Penyisihan Logam Berat Timbal (Pb)

Hasil penelitian daya penyisihan logam berat Pb memperoleh data yang cukup optimal (Tabel 4.1). Hal tersebut dibuktikan dengan penurunan konsentrasi logam Pb pada media tanam setelah perlakuan 15 hari menggunakan *Ipomoea aquatica* dan *Limnocharis flava*. Daya penyisihan terbaik sebesar 96,50% (0,11 mg/L) di hari ke-15 diperoleh pada perlakuan P2 (*L. flava*). Daya penyisihan pada perlakuan P1 (*I. aquatica*) diperoleh nilai 91,85% (0,24 mg/L) di hari ke-15. Sedangkan pada perlakuan P3 (kombinasi *I. aquatica* dan *L. flava*) diperoleh nilai daya penyisihan sebesar 91,28% (0,33 mg/L) di hari ke-15. Perbedaan hasil konsentrasi akhir pada media menunjukkan kemampuan tanaman yang berbeda-beda dalam menyisihkan dan mentranslokasikan ion-ion logam. Setiap tanaman mampu melakukan lokalisasi logam pada jaringan guna mencegah keracunan logam pada sel. Jadi, masing-masing tanaman memiliki batas maksimal penyisihan unsur pencemar yang berbeda (Yuliani dkk., 2013).

Tabel 4.1 Rerata kadar Pb pada air media dan daya penyisihan (%).

Perlakuan		Rerata Konsentrasi Pb (mg/L)						Daya Penyisihan (%)
		Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12	Hari ke-15	
K	Kontrol	3,81	2,08	0,75	0,79	0,56	0,60	84,12
P1	<i>Ipomoea aquatica</i>	2,97	0,69	0,43	0,19	0,14	0,24	91,85
P2	<i>Limnocharis flava</i>	3,23	0,60	0,38	0,16	0,13	0,11	96,50
P3	P1 & P2	3,30	0,63	0,36	0,21	0,18	0,33	91,28

Konsentrasi logam timbal pada hari ke-0 menunjukkan nilai yang cukup besar pada semua perlakuan, dimulai dari kontrol sebesar 3,81 mg/L, P1 sebesar 2,97 mg/L, P2 sebesar 3,23 mg/L, dan P3 sebesar 3,30 mg/L. Nilai hasil uji pada semua reaktor menunjukkan bahwa kandungan Pb di atas ambang batas baku mutu. Jika dibandingkan dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 bahwa nilai ambang batas untuk logam berat Pb di perairan adalah sebesar 0,03 mg/L (baku mutu III) dan 0,05 mg/L (baku mutu IV). Besarnya konsentrasi logam Pb pada hari ke-0 diduga dikarenakan media yang dipakai berupa air sumur dan tanah sawah yang diambil langsung dari alam yang memungkinkan mengandung timbal dengan konsentrasi tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Yuniati dan Sari (2013), bahwa tanah sawah hasil bertanam padi di Lampung mengandung logam berat timbal (Pb) dengan konsentrasi 5-75 mg/L. Penelitian Cahaya dan Maghfirah (2020) menjelaskan bahwa kadar logam Pb pada tanah sawah yang berada di daerah Medan yaitu sebesar 11,40 mg/L. Penelitian Lahuddin dkk. (2017) juga menyebutkan bahwa kadar logam Pb pada tanah sawah di Kecamatan Hampan Kabupaten Perak berkisar antara 2,06-8,95 mg/L.

Tingginya kandungan timbal pada tanah sawah juga ditemukan di area persawahan Rancaekek Jawa Barat. Hasil penelitian (Adji dkk., 2018) mengungkapkan bahwa konsentrasi logam berat Pb pada area tanah perawahan sebesar 8,73 sampai dengan 22,76 mg/L. Sedangkan pada jerami tanaman padi yang tumbuh di area persawahan tersebut menunjukkan angka sebesar 0,971 sampai 5,384 mg/L. Hasil penelitian di atas memperkuat bahwa tanah sawah dapat menjadi penyebab tingginya kadar Pb.

Pada hari ke-15 perlakuan fitoremediasi, konsentrasi logam Pb menunjukkan penurunan, akan tetapi nilai tersebut masih di atas ambang batas baku mutu perairan, yaitu kontrol sebesar 0,60 mg/L, P1 sebesar 0,24 mg/L, P2 sebesar 0,11 mg/L, dan P3 sebesar 0,33 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan yang dimiliki tanaman *I. aquatica* dan *L. flava* kurang berpotensi dalam meremediasi pencemaran Pb pada lingkungan. Namun, tanaman tersebut sudah memiliki daya penyisihan logam Pb yang cukup baik. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya penurunan konsentrasi logam Pb dari hari ke-0 sampai hari ke-15 perlakuan (Tabel 4.1).

Perlakuan kontrol tanpa tanaman uji mengalami kenaikan daya penyisihan logam timbal sebesar 84,12% di hari ke-15 (Tabel 4.1). Angka tersebut menunjukkan persentase di atas 50% yang berarti perlakuan kontrol tanpa tanaman optimal menurunkan konsentrasi Pb dalam media. Konsentrasi logam Pb yang semakin berkurang di hari ke-15 pada reaktor kontrol diduga karena logam yang semula terdapat pada air mengalami pengendapan. Ion Pb dapat mengendap keluar dari air dengan membentuk senyawa yang tidak larut dengan anion. Hal ini sesuai dengan pernyataan Zhang *et al.* (2023) bahwa konsentrasi logam Pb banyak terakumulasi dan mengendap dalam sedimen Danau Dianchi di China yakni sebesar 59,6 mg/L, sedangkan pada air danau sebesar 1,23 mg/L. Hasil penelitian Hou *et al.* (2020) menjelaskan bahwa karakteristik kontaminasi logam berat termasuk Pb pada sedimen sungai sebesar 40,19 mg/L menunjukkan adanya pengendapan dalam mengurangi konsentrasi Pb pada pencemaran perairan.

Menurut Kasari (2016) bahwa kandungan logam berat (Pb, Hg, Cd, dan Cu) dalam perairan memiliki konsentrasi lebih kecil daripada sedimen. Hal ini diduga

karena logam berat Pb mengalami proses pengendapan dan sedimentasi. Logam berat Pb yang terdapat di dalam bak reaktor akan mengalami proses penggabungan dengan senyawa-senyawa lain, baik berupa bahan organik maupun anorganik yang dapat menyebabkan massa jenis menjadi lebih besar, yang kemudian akan mempercepat proses pengendapan dan sedimentasi.

Faktor lain yang dapat menurunkan konsentrasi Pb yaitu adanya proses adsorpsi. Ion Pb dapat teradsorpsi ke permukaan tanah sawah yang digunakan. Hal ini sesuai dengan penelitian Purwiyanto (2015) yang menyatakan bahwa konsentrasi logam Pb pada media lebih rendah daripada konsentrasi di bagian sedimen mengindikasikan bahwa terjadi adsorpsi logam oleh sedimen. Penelitian Karthik dan Meenakshi (2015) menyebutkan bahwa chitosan yang digrafting dengan polyaniline efektif dalam mengadsorpsi ion Pb(II) dari larutan air. Kapasitas adsorpsi maksimum yang dilaporkan adalah sebanyak 16,12 mg/L untuk Pb(II). Arora (2019) menambahkan bahwa kondisi pH, alkalinitas, dan kadar ion lain dalam air dapat memengaruhi kelarutan logam dan menyebabkan presipitasi logam sehingga konsentrasinya dapat berkurang dalam air.

Indikasi lain turunnya konsentrasi logam Pb pada kontrol yakni adanya akumulasi dalam biota perairan melalui aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme berupa bakteri pada media yang berinteraksi dengan cara biosorpsi logam berat. Menurut Naik dan Dubey (2013) bakteri *Bacillus* sp. mampu menyerap timbal (Pb) melalui biosorpsi dan biopresipitasi pada perairan. Bhakta *et al.* (2012) mengonfirmasi bahwa bakteri *Bacillus* sp. mampu menyerap hingga 70-80% timbal dari perairan dalam waktu 24 jam. Bakteri *Bacillus* sp akan bereaksi dengan CO₂ dan H₂O yang membentuk karbonat (H₂CO₃) (Siregar dan Lestari, 2024).

Mekanisme tersebut akan meningkatkan jumlah ion karbonat pada limbah dan juga meningkatkan ion hidroksida yang menyebabkan peningkatan nilai pH (Widya dkk., 2015). Hal ini sesuai dengan peningkatan nilai pH pada perlakuan kontrol di hari ke-3 sampai 15 yang berkisar antara 8,02-8,35 (Lampiran 5).

Hasil penelitian bioremediasi pada perairan tercemar logam berat dengan menggunakan *B. cereus* dan *B. megaterium* mampu mengakumulasi berbagai logam berat secara biologis. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai penyisihan penyerapan Pb sebesar 40,3%, Cd sebesar 81,4 %, dan Zn sebesar 38,3% dengan konsentrasi awal setiap logam sebesar 10 mg/L (Huang *et al.*, 2018).

Penurunan konsentrasi logam Pb juga dipengaruhi oleh adanya potensi tanaman sebagai agen fitoremediasi. Hal ini sesuai dengan Jamil dkk. (2015) bahwa beberapa tanaman seperti kangkung air, genjer, dan semanggi dapat menyerap serta mengakumulasi logam Pb dari perairan. Penelitian Wongpun *et al.* (2018) mengonfirmasi bahwa efisiensi penyerapan logam Pb menggunakan *I. aquatica* mencapai 80% pada konsentrasi 10 mg/L setelah paparan 14 hari. Pada tanaman *L. flava* juga menunjukkan toleransi tinggi terhadap Pb pada konsentrasi 10 mg/L dengan nilai efisiensi penyerapan Pb mencapai 68% setelah 15 hari perlakuan (Sricoth *et al.*, 2018).

Pada perlakuan P1 (*I. aquatica*) menunjukkan adanya penurunan kadar logam Pb mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-15 (Tabel 4.1). Perlakuan P1 menunjukkan kemampuan penyisihan logam Pb pada hari ke-12 yakni sebesar 95,07% dengan rerata konsentrasi Pb dalam media tanam sebesar 0,14 mg/L. Kemudian mengalami kenaikan konsentrasi Pb pada hari ke-15 sebesar 0,24 mg/L. Hal ini dapat dipengaruhi oleh adanya removal limbah Pb yang erat kaitannya dengan titik jenuh

pada tanaman. Sesuai dengan penelitian Nurfitriani (2019) yang menjelaskan bahwa suatu tanaman akan kembali mengeluarkan limbah yang telah diserapnya ke dalam media ketika tanaman mencapai titik jenuh.

Perlakuan P2 (*L. flava*) mampu menunjukkan penyisihan logam Pb secara optimal yakni sebesar 96,50% pada hari ke-15 dengan rerata konsentrasi Pb dalam media sebesar 0,11 mg/L. Hal tersebut didukung oleh morfologi akar yang mempunyai ukuran relatif besar dan panjang, morfologi daun yang tipis dan lebar serta struktur batang yang berongga-rongga sebagai penyimpan air. *L. flava* juga relatif lebih tertanam dalam sedimen dengan kadar logam berat yang tinggi dibanding jenis tanaman lain. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Jamil dkk. (2015) bahwa tanaman genjer lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi logam Pb dikarenakan hidupnya lebih tertanam dibandingkan dengan tanaman akuatik lain yang mengapung di perairannya maka relatif kecil penyerapan kandungan logamnya.

Variasi kombinasi pada tanaman *I. aquatica* dan *L. flava* (P3) menunjukkan nilai daya penyisihan sebesar 91,28% yang kurang optimal dibandingkan dengan perlakuan tunggal (P1 dan P2) (Tabel 4.1). Hal ini diduga adanya kompetisi antar tanaman dalam penyerapan nutrisi yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi daya penyisihan polutan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Fletcher *et al.* (2020) bahwa potensi fitoremediasi dipengaruhi oleh faktor biotik, seperti kompetisi, predasi, dan tahap perkembangan. Efek dari kompetisi antar tanaman tersebut dapat berdampak pada komposisi dan kemampuan tanaman dalam menghilangkan polutan yang ditargetkan.

Penurunan konsentrasi logam Pb dalam media dipengaruhi oleh mekanisme penyerapan yang baik oleh tanaman *I. aquatica* dan *L. flava*. Senyawa fitokhelatin dapat membantu mekanisme tanaman dalam mempertahankan diri ketika sel-selnya terpapar logam berat (Santosa dkk., 2013). Ion akar memiliki muatan negatif yang nantinya akan mengikat kation kontaminan logam berat (Violita dkk., 2022) dan dibawa ke dalam vakuola (Wulandari dan Sibarani, 2018). Diketahui faktor internal juga menjadi sebab penurunan konsentrasi logam Pb pada media tanam. Peristiwa fitoremediasi tersebut dibantu oleh akar tanaman dan mikroorganisme yang ada dipermukaan akar. Mikroorganisme berupa bakteri *Bacillus* sp. mulai menggabungkan bahan organik dan anorganik yang melekat pada akar melalui tahap filtrasi. Selanjutnya, rambut halus pada akar tanaman melakukan proses filtrasi pada bagian akar serabut (Widyawati dan Sunu, 2021).

Tanaman agen fitoremediasi secara umum memiliki beberapa karakteristik kunci yang memungkinkan mereka berpotensi dalam membersihkan kontaminan dari lingkungan. Menurut Dhir (2013) bahwa laju pertumbuhan yang cepat dan penambahan biomassa yang besar pada tanaman memungkinkan penyerapan kontaminan lebih efisien. Sistem perakaran tanaman yang dalam dan luas, adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan, mudah diaplikasikan, resistensi terhadap hama, kemampuan translokasi kontaminan (Yan *et al.*, 2020), serta bukan termasuk tanaman invasif (Couselo *et al.*, 2018) menjadi karakteristik tanaman agen fitoremediasi secara umum. Pemilihan agen tanaman yang tepat tergantung pada jenis pencemaran, kondisi lingkungan, dan tujuan spesifik dari proyek fitoremediasi.

Karakteristik tanaman kangkung air (*I. aquatica*) memiliki pertumbuhan yang cepat dengan batang berongga dan bercabang, daun yang berbentuk hati berwarna hijau tua, dan memiliki sistem perakaran yang ekstensif (Wongpun *et al.*, 2018). Selanjutnya, karakteristik tanaman genjer (*L. flava*) yakni memiliki daun berbentuk oval dengan tangkai panjang serta berwarna hijau cerah, tumbuh di perairan dangkal atau tanah berlumpur, serta akar serabut dengan diameter yang lebih luas (Nuarisma, 2012). Namun, beberapa kondisi morfologi tanaman *I. aquatica* mengalami perubahan setelah perlakuan kontaminan berupa logam berat Pb, seperti turunnya laju pertumbuhan, perubahan bentuk akar, perubahan warna daun (klorosis), dan deformasi ukuran daun yang awalnya berbentuk hati menjadi ukuran lebih kecil dan ramping (Indah dkk., 2014; Tangahu *et al.*, 2011). Morfologi daun *I. aquatica* sebelum terpapar logam berat memiliki perawakan tepi daun rata, ujung daun runcing, pangkal daun berlekuk, dan berwarna hijau. Sedangkan morfologi daun *I. aquatica* setelah terpapar Cd, Cu, dan Zn akan menjadi lebih ramping, ujung daun meruncing, serta penyusutan luas daun (Hisam *et al.*, 2022). Menurut Kumar dan Prasad (2018) adanya perubahan morfologi tanaman uji disebabkan oleh beberapa faktor seperti, stres oksidatif yang memicu kerusakan sel dan jaringan tanaman, adanya gangguan penyerapan nutrisi, dan penghambatan fotosintesis dikarenakan Pb menghambat aktivitas enzim yang terlibat dalam fotosintesis. Porrut *et al.* (2011) menambahkan bahwa logam Pb dapat menyebabkan perubahan dalam struktur dinding sel dan membran sel.

Penelitian Jamil dkk. (2015) menunjukkan bahwa perubahan visual pada tanaman *L. flava* yang menjadi layu serta daun yang berangsur menguning setelah terpapar limbah cair selama 7 dan 21 hari. Semakin banyak logam yang diserap

oleh tanaman maka akan mengakibatkan kemampuan menyerap pada tanaman telah memasuki masa jenuh dan pada akhirnya tanaman tersebut tidak mampu lagi menyerap Pb sehingga mengakibatkan tanaman mengalami kematian.

4.2 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Hasil penelitian mengenai potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan konsentrasi pencemaran logam berat Pb menunjukkan hasil yang kurang optimal. Namun, tanaman uji masih bisa menurunkan konsentrasi logam Pb di lingkungan meski dalam jumlah yang sedikit. Air yang semula terkandung logam berat timbal dengan konsentrasi tinggi dapat menurun konsentrasinya setelah adanya perlakuan fitoremediasi *I. aquatica* dan *L. flava*. Hal ini mempresentasikan bahwa fungsi tanaman pada perairan dapat menyerap polutan dan zat berbahaya lainnya yang terlarut dalam perairan tersebut. Benarlah firman Allah SWT yang menyatakan bahwa tidak ada segala sesuatu yang diciptakan-Nya secara sia-sia. Firman tersebut termaktub dalam al-Qur'an surah Ali-'Imran ayat 191 sebagai berikut:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

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

Ayat di atas menegaskan keyakinan pada manusia terhadap keberadaan hikmah dibalik segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT. Pada tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa makna “هٰذَا بَاطِلًا” mengandung beberapa makna, satu

diantaranya yaitu setiap ciptaan memiliki tujuan. Allah SWT tidak menciptakan segala apapun secara acak atau tanpa tujuan. Langit, bumi, dan segala isinya, termasuk tanaman memiliki fungsi dan peran masing-masing dalam tatanan yang sempurna (Abdullah, 2007). Tanaman uji dalam penelitian ternyata memiliki peran penting bagi keberlangsungan ekosistem perairan. Lingkungan perairan yang tercemar limbah sebagian akan terserap oleh tanaman-tanaman akuatik yang memiliki daya dalam penyerapan polutan.

Kemampuan yang dimiliki oleh tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam meremediasi lingkungan perairan yang tercemar menunjukkan kepada manusia agar senantiasa bersyukur dan berpikir terhadap segala kuasa Tuhan. Kebebasan berpikir pada manusia menjadi jalan untuk selalu memikirkan keagungan segala ciptaan-Nya (Markos, 2021). Tidak hanya itu, Allah SWT memerintah pada manusia agar senantiasa berfikir, yakni dalam surah Al-Jatsiyah ayat 13 sebagai berikut:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمُوتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ
لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya: “Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir.”

Ayat ini menunjukkan kuasa Allah SWT dalam menciptakan segala sesuatu, termasuk dunia dan seisinya. Pada potongan ayat tersebut terdapat kata “يَتَفَكَّرُونَ” yang artinya berpikir. Pesan yang ditujukan bagi manusia ini agar selalu berpikir terlebih dahulu sebelum melakukan segala perbuatan. Perbuatan baik akan berbuah

kebaikan, sedang perbuatan buruk juga dapat berbuah keburukan. Oleh karena itu, manusia yang diberi nikmat berupa akal pikiran haruslah bijak dalam melakukan berbagai kegiatan. Alam sekitar yang meliputi langit dan bumi beserta isinya diciptakan oleh Allah SWT untuk kepentingan umat manusia dan makhluk hidup lain. Maka dari itu, penting untuk mensyukuri nikmat yang telah diberikan melalui pikiran yang digunakan secara bijak . Menurut tafsir Kementerian Agama RI kata berpikir berarti merefleksikan segala tentang alam semesta, artinya manusia dituntut agar tidak hanya menerima keberadaan dan manfaat alam saja, tetapi juga ikut aktif mengelola dan melestarikan lingkungan melalui fitoremediasi sebagai uapaya mensyukuri nikmat-Nya berupa otak untuk berpikir (Suryatna, 2013).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) belum menunjukkan potensi sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam berat timbal (Pb).

5.2 Saran

Penelitian ini belum berhasil memanfaatkan potensi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai agen fitoremediasi pencemaran timbal (Pb) dan perlu dilakukan penelitian ulang dengan menyempurnakan metode serta memperhatikan analisis yang dilakukan. Sebelum melakukan penelitian, diperlukan uji pendahuluan terhadap media (air sumur dan tanah sawah) yang akan digunakan agar tidak menimbulkan kerancuan data pada saat penelitian berlangsung. Selanjutnya, penggunaan bahan seperti air, tanah, dan tanaman harus lebih diperhatikan agar data yang diperoleh lebih akurat. Selain itu, pentingnya untuk memantau kondisi reaktor secara berkala agar tidak ada faktor lain yang memengaruhi kondisi reaktor.

Parameter uji sebaiknya dapat dikembangkan dengan menghitung parameter seperti daya efektivitas, faktor bioakumulasi, faktor translokasi, biomassa organ tanaman, analisis morfologi serta fisiologi tanaman, dan lain sebagainya. Selanjutnya, diperlukan uji lanjut dan pemberian notasi dalam analisis data yang telah dilakukan guna mengetahui ada perbedaan yang nyata atau tidak di setiap perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. (2007). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Adesuyi, A. A., Njoku, K. L., Akinola, M. O., & Jolaoso, A. O. (2018). Biomonitoring of Heavy Metals Level in Wetland Plants of Lagos Lagoon, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 22(9): 1489-1498.
- Adhani, R., & Hursaini. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Adji, S. S., Sunarsih, D., & Hamda, S. (2018). Pencemaran Logam Berat dalam Tanah dan Tanaman Serta Upaya Mengurangnya. *Seminar Nasional Kimia UGM*.
- Adjovu, E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Journal Remote Sensing*. 15(14).
- Advinda, L. (2018). *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Sleman, Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Afifudin, A. F. M., & Rony, I. (2021). Estimating The Ability of Lanceleaf Arroehead (*Sagittaria lancifolia*) in Phytoremediation of Heavy Metal Copper (Cu). *Berkala Saintek*. 9(3): 125-130.
- Agustira, R., & Lubis, K. S. (2013). Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*. 1(3): 95191.
- Akintunde, W. O., Olubenga, O. A., & Olufemi, O.O. (2015). Some Adverse Effects of Used Engine Oil (Common Waste Pollutant) On Reproduction of Male Sprague Dawley Rats. *Journal of Medical Sciences*. 3(1): 46-51.
- Alfakihuddin, M. L. B., Sunartaty, R., Satriawan, D., Purnomo, T., Sahabuddin, E. S., Darsini, Pasanda, O. S., Dewadi, F. M., Ningsih, E., Gregorio, A. B., Hutaaruk, T. B., & Andayani, S. (2023). *Pengendalian Limbah Industri*. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi.
- Ali, A. Y. (2009). *Tafsir Yusuf Ali Teks, Terjemahan dan Tafsir Qur'an 30 juz*. Bogor: Litera Antarnusa.
- Alisa, C. A. G., Albirqi P, M. S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*. 5(1): 21.
- Amelia, R., Rachmadiarti, F., & Yuliani. (2015). Analisis Kadar Logam Berat Pb dan Pertumbuhan Tanaman Padi di Area Persawahan Dusun Betas, Desa Kapulungan, Gempol, Pasuruan. *LenteraBio*. 4(3): 187–191
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity Induced Physiological and Biochemical Changes In Plants: An Omic Approach Towards Salt Stress Tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. Vol. 156: 64-77.
- Arifin, A., Martias, dan Andrizal. (2016). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium terhadap Emisi Hidrokarbon dan Karbon Monoksida pada Sepeda Motor Yamaha V-Ixion. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Otomotif*. 4(2).
- Ariyanto. (2011). Pengaruh Penggunaan Fasilitas Bengkel Dan Perawatan Lingkungan Praktik Terhadap Prestasi Praktik Kerja Kayu Siswa Kelas I

- Mata Pelajaran Teknik Dasar Konstruksi Bangunan Di Smk Negeri 1 Seyegan, Sleman, Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Arnoldi, Dwi. (2009). Pemilihan Minyak Pelumas/ Oli Kendaraan Bermotor. *Jurnal Austenit*. 1(2): 26-30.
- Arora, Rajeev. (2019). Adsorption of Heavy Metals–A Review. *Materialstoday Proceedings*. 18(7): 4745-4750.
- Arsyad, M. & Sultan, A. Z. (2018). *Manajemen Perawatan*. Sleman: CV Budi Utama.
- Atagana, H. I. (2008). Compost Bioremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Inoculated With Organic Manure. *African Journal of Biotechnology*. 7: 1516-1525.
- Avlenda, E. (2009). Penggunaan Kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) dan Genjer (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Skripsi*. Sekolah Tinggi Ilmu Hayati. Bandung: ITB.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia. (2023). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 2019-2021*.
- Baroroh, F., Eko, H., & Rony, I. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 5(1): 689-700.
- Basri, S., & Erlina, H. (2015). Studi Eksperimen: Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air. *Higiene*. 1(1): 49-59.
- Belladonna, M. (2017). Analisis Tingkat Pencemaran Sungai Akibat Limbah Industri Karet di Kabupaten Bengkulu Tengah. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.
- Bertin, P. N., Crognale, S., Plewniak, F., Fabienna, B., Rossetti, S., & Michel, M. (2021). Water and Soil Contaminated by Arsenic: The Use of Microorganisms and Plants in Bioremediation. *Environmental Science and Pollution Research*. 29: 9462-9489.
- Bhakta, J. N., Munekage, Y., Ohnishi, K., Jana, B. B., & Balcazar, J. L. (2012). Isolation and Characterization Of Cadmium-And Arsenic-Absorbing Bacteria For Bioremediation. *Water, Air, & Soil Pollution*. 223(7): 4539-4552.
- Cahyani, N., & Djamar, T. (2016). Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd, dan Cu Pada Daging Ikan Rejung (*Sillago sihama*) Di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *JPHPI*. 19.
- Cahyana, Y., & Bambang, W. (2010). Pengaruh Timbal (Pb) Pada Udara Jalan Tol Terhadap Gambaran Mikroskopis Ginjal Dan Kadar Timbal Dalam Darah Mencit Jantan. *Skripsi*. Universitas Diponegoro.
- Caroline, J., & Moa, G. A. (2015). *Tanaman Melati Air (Echinodorus Palaefolius) Pada Limbah*. 12.
- Couselo, J. L., Corredoira, E., Vieitez, A. M., & Ballester, A. (2018). Plant Tissue Culture Of Fast-Growing Trees For Phytoremediation Research. *Methods in Molecular Biology*. 1815: 247-263.
- Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.

- Departemen Agama RI. (2009). *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: Rilis Grafika.
- Department of Primary Industries and Fisheries. (2007). *The Peanut Plant*. The State of Queensland.
- Dhir, B. (2013). Phytoremediation: Role of Aquatic Plants In Environmental Clean-Up. *Springer Science & Business Media*.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. (2019). *Pengelolaan Air Limbah Kegiatan Bengkel*.
- Don, W. S., Emir, T., & Hadibroto, C. (2000). *Tanaman Air*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Cetakan Kelima. Yogyakarta: Kanisius.
- Eldrin, N. E. H., Puryanti, D., & Budiman, A. (2019). Identifikasi Kandungan Timbal (Pb), Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) pada Air Sungai Malakutan Kota Sawahlunto. *Jurnal Fisika Unand*. 8(1): 41–45.
- Fahrudin. (2010). *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Fitria, S. N. (2015). Pengukuran Efektivitas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk), Genjer (*Limnocharis flava*) dan Seledri (*Apium graveolens* L) Untuk Pengurangan Kadar Logam Berat (Pb Dan Cu) Serta Radionuklida Dengan Metode Fitoremediasi. *Skripsi*. Universitas Brawijaya.
- Fitria, S. N., Juswono, U. P., & Saroja, G. (2021). Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Untuk Mengurangi Kadar Logam Berat (Pb dan Cu) Serta Radionuklida Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Fisika Universitas Brawijaya*.
- Fletcher, J., Willby, N., Oliver, D. M., Quilliam, R. S. (2020). Phytoremediation Using Aquatic Plants. In: Shmaefsky, B. (eds) Phytoremediation. *Concepts and Strategies in Plant Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_7
- Gandjar, I. G. (2007). *Kimia Farmasi Analisis*. Jakarta: Pustaka Pelajar.
- Gao, H., Wu, M., Liu, H., Yinrui, X., & Zeliang, L. (2022). Effect Of Petroleum Hydrocarbon Pollution Levels on The Soil Microecosystem and Ecological Function. *Environmental Pollution*. 293.
- Ghani,
- González, C. R. D., Alfredo, M. N., Fernández-Cortés, J. M., Islas-Pelcastre, M., Oza, G., Iqbal, H. M. N., & Ashutosh, S. (2021). Advances and Applications of Water Phytoremediation: A Potential Biotechnological Approach for The Treatment of Heavy Metals from Contaminated Water. *Environmental Research and Public Health*. 18(10): 5215.
- Gunanjar. (1997). *Spektrofotometri Serapan Atom*. Diktat Keahlian Analisis Kimia Bahan Bakar Nuklir, Batan.
- Gurreri, L., Tamburini, A., Cipollina, A., & Micale, G. (2020). Electrodialysis Applications in Wastewater Treatment for Environmental Protection and Resources Recovery: A Systematic Review on Progress and Perspectives. *Membranes*. 10(7): 146.
- Hammond, C. M., Root, R. A., Maier, R. M., & Chorover, J. (2018). Mechanisms of Arsenic Sequestration by *Prosopis juliflora* During the Phytostabilization of Metalliferous Mine Tailings. *Environmental Science and Technology*. 52(3): 1156-1164.

- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, Maury H. K., Alianto. (2018). Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 16(1): 35-43.
- Handayani, I. F., Setyawati, E., & Santoso, A. M. (2013). Efisiensi Fitoremediasi pada Air Terkontaminasi Cu Menggunakan *Salvinia molesta* Mitchel. *Seminar Nasional X Pendidikan Biologi*. 10(2).
- Hapsar, J. E., Amri, C., & Suyanto, A. (2018). Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Sebagai Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 3(1): 2540-8267.
- Haryati, M., Purnomo, T., & Kuntjoro, S. (2012) Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas Pada Biomasaa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya. 1(3): 131-138
- Hasyim, U. H. (2016). Review: Kajian Adsorpsi Logam dalam Pelumas Bekas dan Prospek Pemanfaatannya sebagai Bahan Bakar. *Konversi*. Vol. 5(1).
- Hazrat, A., Ezzat, K., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of Heavy Metals- Concepts and Applications. *Chemosphere*. 91(7): 869-881.
- Hendrasarie, N., & Dieta, Y. A. (2019). Kemampuan Adsorpsi Pb dari Limbah Industri oleh Tumbuhan Kayu Ambang (*Lemna minor*), Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), dan Eceng Gondok. *Jurnal Envirotek*, 1(1).
- Heyne, K. (1987). *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Terjemahan: Badan Litbang Kehutanan Jakarta. Jakarta: Yayasan Sarana Wana Jaya.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Jurnal Hayati*. 12(1).
- Hisam, N. I. B., Zakaria, M. Z., Azid, A., Bakar, M. F. A., & Samsudin, M. F. (2022). Phytoremediation Process of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) in Absorbing Heavy Metal Concentration in Wastewater. *Journal of Agrobiotechnology*. 13(1s): 131-144.
- Hou, D. *et al.* (2020). Contamination characteristics and source apportionment of heavy metals in the sediments of the Lishui River watershed, Southern China. *Environmental pollution*. 263(114503).
- Huang, F., Wang, Z. H., Cai, Y. X., Chen, S. H., Tian, J. H., & Cai, K. Z. (2018). Heavy Metal Bioaccumulation and Cation Release By Growing *Bacillus cereus* RC-1 Under Culture Conditions. *Ecotoxicol Environ Saf*. 157: 216–226.
- Hutabarat, S., & Evans, S. M. (2014). *Pengantar Oseanografi (2nd ed.)*. Jakarta: UI Press.
- Ikawati, S., Zulfikar, A., & Umrah, D. A. (2017). Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi Pada Deterjen dengan Menggunakan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Fitoremediation Effectivity and Efficiency. *Jurnal Umrah*. 1–7.
- Indah, L. S., Hendarto, B., & Soedarsono, P. (2014). Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*), dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Management of Aquatic Resources Journal*. 3(1): 1-6.

- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 1(2).
- Isa, I., Jahja, M., & Sakakibara, M. (2014). Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) sebagai Akumulator Logam Pb dan Cu. *Laporan Peneltian*. FMIPA: Universitas Negeri Gorontalo.
- Jamil, A. Q., Pujiati, R. S., & Ellyke. (2015). Perbedaan Penyerapan Logam Pb Pada Limbah Cair Antara Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* forsk), Genjer (*Limnocharis flava*), Dan Semanggi (*Marsilea drummondii* L). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*.
- Jiang, W., & Liu, D. (2010). Pb- Induced Celluler Defense System in The Root Meristematic Cells of *Allium sativum* L. *BMC Plant Biology*. 10(40).
- Kabir, A. K. M. E., & Islam, M. S. (2017). Bioremediation of Contaminated Soil and Water. *Journal Elsevier*. 57(18).
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautama, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, Plant Selection and Enhancement by Natural and Synthetic Agents. *Environmental Advances*. 8(1).
- Karthik, R., & Meenakshi, S. (2015). Removal of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solution using polyaniline grafted chitosan. *Chemical Engineering Journal*. 263, 168-177.
- Kasari, A. F. (2016). Status Pencemaran Berdasarkan Logam Berat Pb, Hg, Cd, Cu, dan Ag Dalam Air dan Sedimen di Estuari Sungai Donan, Segara Anakan Timur. *Skripsi*. Bogor: IPB.
- Kavoosi, G., Balotf, S., Eshghi, H., & Hasani, H. (2014). Analysis of Nitrate Reductase mRNA Expression and Nitrate Reductase Activity in Response to Nitrogen Supply. *MBRC*. 3(2): 75-84.
- Kementerian ESDM Republik Indonesia. (2006). *Standar Dan Mutu Bahan Bakar Jenis Minyak Solar Yang Di Pasarkan di Dalam Negeri*.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2017). Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Kenneth, Reddy, J., & Crawford, D. L. (2002). The History of Phytoremediation: From Ancient Practices to Modern Technologies. *Environmental Science & Technology*. 36(13): 2896-2903.
- Kin, L. K. (2008). Bioremediation of Spent Lubricating Oil-Contaminated Sediments In Mangrove Microsom. *Thesis*. Hongkong: City University Of Hongkong.
- Kopittke, P. M., Asher, C. J., Kopittke, R. A., & Menzies, N. W. (2007). Toxic Effects of Pb²⁺ On Growth of Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environ Pollut*. 150(2): 280–287.
- Kristanto, Philip. (2002). *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Kumar, A., & Prasad, M. N. V. (2018). Plant-Lead Interactions: Transport, Toxicity, Tolerance, and Detoxification Mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 166, 401-418.
- Kumar, A., Naroju, S. P., Langthasa, M., Behera, I., Tyagi, S., Sharma, N., & Gautam, R. K. (2023). Bioremediation Potential of Green Wastes and Plant Growth Promoting Rhizobacteria and its Enhancement by Their Combination: A Review. *Environmental Advances*. 12(2): 100379.

- Kusrijadi, A., Mudzakir, A., & Fatima, S. S. (2009). *Peningkatan Kulaitas Sanitasi Lingkungan Berbasis Fitoremediasi*. Bandung: UPI Press.
- Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) dalam Fitoremediasi Detergen dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1): 143–148.
- Kusumaningtyas, M. A., Bramawanto, R., Daulat, A., & Pranowo, W. S. (2014). Kualitas perairan Natuna pada musim transisi. *J. Depik*. 3(1): 10-20.
- Laghlimi, M., Baghdad, B., El Hadi, H., & Bouabdli, A. (2015). Phytoremediation Mechanism of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Open Journal of Ecology*. 5: 375-388.
- Listyaningrum, R. (2022). Analisis Kandungan DO, BOD, COD, TS, TDS, TSS dan Analisis Karakteristik Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta.
- Machdar, Izarul. (2018). *Pengantar Pengendalian Pencemaran: Pencemaran Air, Pencemaran Udara, dan Kebisingan*. Sleman: CV Budi Utama.
- Mangesti, F. L., Sosidi, H., Prismawiryanti, & Syamsuddin. (2019). Adsorpsi Logam Pb dan Cu Dari Pelumas Bekas Menggunakan *Blending* Selulosa Asetat-Kitosan. *Jurnal Kovalen*. 5(2): 222-232.
- Manuhutu, O. (2009). Penetapan Kadar Lidokain HCl dalam Sediaan Injeksi Secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung. *Skripsi*. Fakultas Farmasi. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Marganof. (2003). Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan.
- Markos, Toni. (2021). Al-Qur'an dan Kebebasan Manusia. *Jurnal UNIJ*. 27-41.
- Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2014). Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). *Biomedical Sciences*. 485-489.
- Moore, C. E., Katherine, M-H., Lemonnier, P., Slattery, R. A., Benjamin, C., Bernacchi, C. J., Lawson, T., & Cavanagh, A. P. (2021). The Effect of Increasing Temperature On Crop Photosynthesis: From Enzymes to Ecosystems. *Journal of Experimental Botany*. 72(8): 2822-2844.
- Morel, Latha, J. P., Murthy, R. K. S., & Prasad, M. N. V. 2006. Phytoremediation of Heavy Metals: An Overview of The Potential and Challenges. *Journal of Environmental Management*. 90(1): 189-204.
- Mujab, A. S. 2011. Penggunaan Biokompos dalam Meremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Bumi. *Skripsi*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Murillo-Tovar, M. A., Norena, H. A. S., & Saeid, A. 2020. *Trace Metals in the Environment – New Approaches and Recent Advances*. Belanda: Elsevier.
- Muthukumaran, M. (2022). *Aquatic Plant Remediation to Control Pollution. Advances in Pollution Research*. India: Woodhead Publishing.
- Nadeak, E. S. M., Aldo, N., & Horiza, H. (2015). Analisis Kandungan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Bengkel Kendaraan Bermotor di Kota Tanjungpinang Tahun 2014. *Jurnal Poltekkes Jambi*. 8(3): 181-189.
- Nadhila, U., & Titah, H. S. (2021). Kajian Penambahan EDTA Pada Fitoremediasi Logam Berat Timbal. *Jurnal Teknik ITS*. 9(2): 117-122.
- Naik, M. M., & Dubey, S. K. (2013). Lead Resistant Bacteria: Lead Resistance Mechanisms, Their Applications in Lead Bioremediation and Biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 98: 1-7.

- Najwa, S., Elvania, N. C., & Margianti, Y. S. (2023). Efektivitas Metode Fitoremediasi Dengan Jenis Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica* Forsk) Terhadap Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Desa Ledok Kulon. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 15(2): 166-170.
- Negrete, J. M., Montes, G. E., Hernandez, J. D., Hernandez, J. P., & Diez, S. (2017). Removal of Mercury from Gold Mine Effluents Using *Limnocharis flava* in Constructed Wetlands. *Chemosphere*. 167: 188-192.
- Noriyanti, T. (2012). Analisis Kalsium, Kadmium dan Timbal pada Susu Sapi Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia.
- Novitasari, D. (2023). Pemanfaatan Limbah Oli Sebagai Bahan Bakar Pada Penambalan Ban Motor Solusi Mengurangi Konsumsi Spritus Melalui Metode Destilasi. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 1(1): 1-10.
- Nowak, P., Kucharska, K., & Kaminski, M. (2019). Ecological and Health Effects of Lubricant Oils Emitted into the Environment. *I. J. Environ mental Research and Public Health*. 16(16): 3002.
- Nuarisma, F. (2012). Analisis Komponen Bioaktif Pada Genjer. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Nurfitriani, F. (2019). Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Apu-apu (*Pistia Stratiotes*) dengan Sistem Kontinyu. *Skripsi UINSA*.
- Nurlina, N., Suhadiyah, S., & Umar, M. R. (2016). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu (*Pistia stratiotes* L.) dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 2(1).
- Oktaviana, I., dkk. (2015). Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (Pb). *JOM FMIPA*. 2(2): 1-7.
- Okunowo, Wahab, O., & Liasu, A. O. (2010). Phytoremediation Potential of Some Heavy Metals by Water Hyacinth. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 4 (2): 347-353.
- Olguin, E. J., & Gloria, S. G. (2012). Heavy Metal Removal in Phytofiltration and Phycoremediation: The Need to Different Between Bioadsorption and Bioaccumulation. *J. Biotechnology*. 30(1).
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pambudi, M. A. R., & Suprpto. (2018). Penentuan Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Mineral. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 7(2): 20-23
- Paz-Alberto, A. M., & Sigua, G. C. (2013). Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. *American Journal of Climate Change*. 2(1).
- Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia. (2021). *PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Peerlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Dokumen Pemerintah.
- Perwitasari, P., Handayanto, E., & Rindyastuti, R. (2018). Penggunaan *Echinodorus radicans* dan *Pistia stratiotes* Untuk Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Serta Pengaruhnya Terhadap Tanaman *Amaranthus tricolor*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 5(1): 811-817.
- Plantamor. (2023). Klasifikasi Genjer (*Limnocharis flava*).
- Plantamor. (2023). Klasifikasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*).

- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., & Pinelli, E. (2011). Lead Uptake, Toxicity, and Detoxification In Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 213: 113-136.
- Pratama, A. G. (2012). Kandungan logam berat Pb dan Fe pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di sungai Tapak Kelurahan Tugurejo Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Journal Of Marine Research*. 118-122.
- Purwiyanto, A. I. S. (2015). Distribusi dan Adsorpsi Logam Timbal (Pb) di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *J. Ilmu Kelautan*. 20(3): 153-162.
- Rachmadiarti, F., Soehono, L. A., Utomo, W. H., Yanuwiyadi, B., & Fallow, F. H. (2012). Resistance of Yellow Velvetleaf (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) Exposed To Lead. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. Fmipa. Surabaya.
- Rahardiyani, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). Efisiensi Penurunan COD Dan TSS Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu. 6(3): 8.
- Rahayu, F. R. (2020). Efektivitas Tumbuhan Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dalam Mengabsorpsi Zat Pencemar LAS (*Linier Alkylbenzene Sulfonate*) dengan Adanya Logam Berat (Pb dan Cd). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Rahman, A., Sari, M. M., Ivonie, R. N., & Mardiasuti, A. (2023). Plastic Waste River Indonesia: A National-Scale Assessment of Riverine Plastic Pollution. *Nature*. 605: 369-373.
- Rahmawati, Aldila. (2020). Pengaruh Jumlah Penduduk, Jumlah Kendaraan Bermotor, PDRB Per Kapita Dan Kebijakan Fiskal Terhadap Konsumsi Energi Minyak Di Indonesia. *Jurnal Pembangunan dan Pemerataan*. 1(1): 1-28.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analysis of Temperature, Power of Hydrogen (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), and Biological Oxygen Demand (BOD) in Domestic Wastewater in Sukoharjo Environmental Office. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*. 6(2): 12-22.
- Rizkiyah, Z. A., & Erwanto, D. (2023). Menghadapi Fenomena Kerusakan di Muka Bumi: (Kajian Lafadz Fasad Dalam Q.S Ar-Rum: 41). *Mushaf Jurnal (Jurnal Ilmu Al Ouran dan Hadis)*. 3(2): 218-228.
- Robertina, N. L. (2014). Efek Timbal (Pb) Terhadap Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman. *Skripsi Tugas Akhir*. Universitas Jember.
- Rondowunu, S. B. (2014). Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 4(1).
- Rosita, B., & Widiarti, L. (2018). Hubungan Toksisitas Timbal (Pb) Dalam Darah Dengan Hemoglobin Pekerja Pengecatan Motor Pekanbaru. *Prosiding Seminar Kesehatan Perintis*. 1(1).
- Sandy, E. P., Qurthobi, A., & Fathona, I. W. (2021). Monitoring Dan Kontrol Suhu Air Pada Tanaman Kangkung Akuaponik Dengan Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. *E-Proceeding of Engineering*. 8(5).
- Santosa, D., Nurma, S., Irma, P. D., & Luthfiana, N. A. (2013). Kultur Tunas *Scoparia dulcis*, *Lindernia anagalis*, *Lindernia ciliata* dan Upaya Bioremediasi Terhadap Logam Berat Pb, Cr, Cd. *Traditional Medicine Journal*. 18, 29–34.

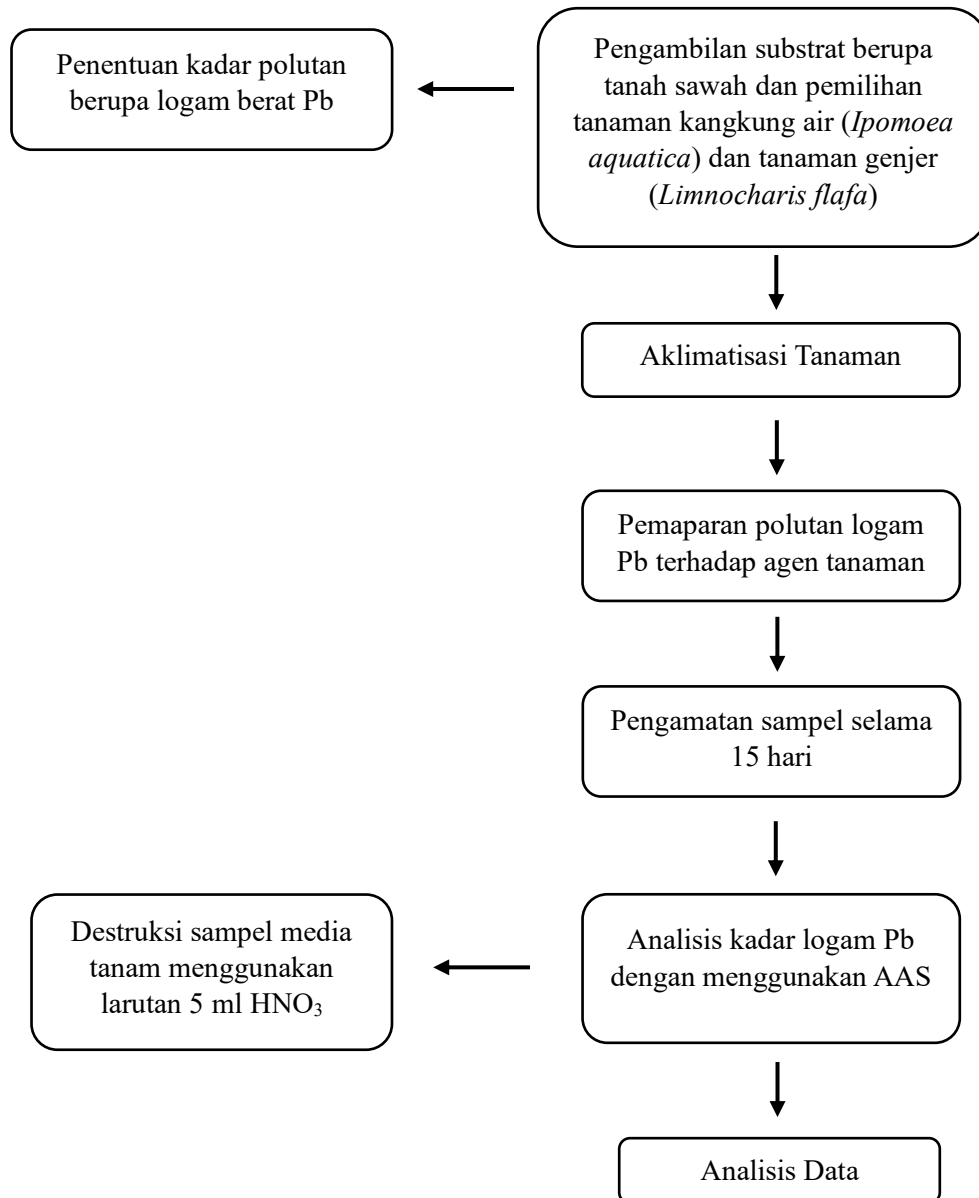
- Saxena, P., & Misra, N. (2010). Remediation of Heavy Metal Contaminated Tropical Land. *Soil Heavy Metals*. 19: 431-477.
- Serang, L., Handayanto, E., & Rindyastuti, R. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium Dengan Menggunakan *Sagittaria lancifolia* dan *Pistia stratiotes* Serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*. 5(1): 739-746.
- Setyono, B. D. H., Munaeni, W., Sari, Y. P., Panunggul, B., Utami, M. A., Yusra, S., Putranto, H., & Fahmi, D. A. (2023). *Akuaponic For Urban Farming "Mewujudkan Petani Inovatif 5,0"*. Makassar: CV. Tohar Medika.
- Shihab, M. Q. (2009). *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an (Volume 10)*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shukla, K. P., Singh, N. K., & Sharma, S. (2010). Bioremediation: Developments, Current Practices and Perspectives: A Review. *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*. 3.
- Sidjabat, F. N., Alwi, V., & Puspitasari, Y. (2020). Pengukuran Timbal Pada Air Sungai dan Bioindikator Lokal di Sungai Brantas Kota Kediri, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. 19(3): 13.
- Simanjuntak, M. (2009). Hubungan Faktor Lingkungan Kimia, Fisika Terhadap Distribusi Plankton di Perairan Belitung Timur, Bangka Belitung. *Journal of Fisheries Sciences*. 11(1): 31-45.
- Siregar, L. P. A., & Lestari, W. (2024). Kemampuan Tanaman Air Sebagai Fitoremediaator Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit. *Jurnal Bios Logos*. 14(1): 45-54.
- SNI 6989.46:2009: Air dan Air Limbah. (2009). *Bagian 46: Cara Uji Timbal (Pb) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – tungku karbon*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Soheti, P., La, O. S., & Dany, P. M. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *J. Eksplorium*. 41(2): 139-150.
- Sricoth, T., Meeinkuirt, W., Pichtel, J., Taeprayoon, P., & Saengwilai, P. (2018). "Phytoremediation Potential of *Limnocharis flava* for Removal of Heavy Metals from Contaminated Water. *International Journal of Phytoremediation*. 20(7): 686-696.
- Sudarmaja, I. M., & Sudarmaji, M. 2019. *Dampak Pencemaran Air Terhadap Lingkungan dan Kesehatan*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Sudiro, & Agnes, T. A. (2013). Kajian Efektifitas Tanaman Air *Lemna minor* dan *Hydrilla verticillata* Dalam Mereduksi BOD dan COD Sebagai Upaya Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Spectra, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional, Malang*.
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. (2019). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 12(1): 55-63.
- Sunardi, O., Adimihardja, S. A., & Mulyaningsih, Y. (2013). Pengaruh Tingkat Pemberian Zpt Gibberellin (GA3) Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Kangkung Air (*Ipomea Aquatica* Forsk L.) Pada Sistem Hidroponik *Floating Raft Technique* (FRT). *Jurnal Pertanian*. 4(1): 33-47.
- Suratman, Priyanto, D., & Setyawan, A. D. (2000). Analisa Keragaman Genus *Ipomoea* Berdasarkan Karakteristik Morfologi. *Biodiversitas*. 1(2): 8-16.
- Suriawira, U. (2005). *Mikrobiologi Dasar*. Jakarta: Papar Sinar Sinanti.

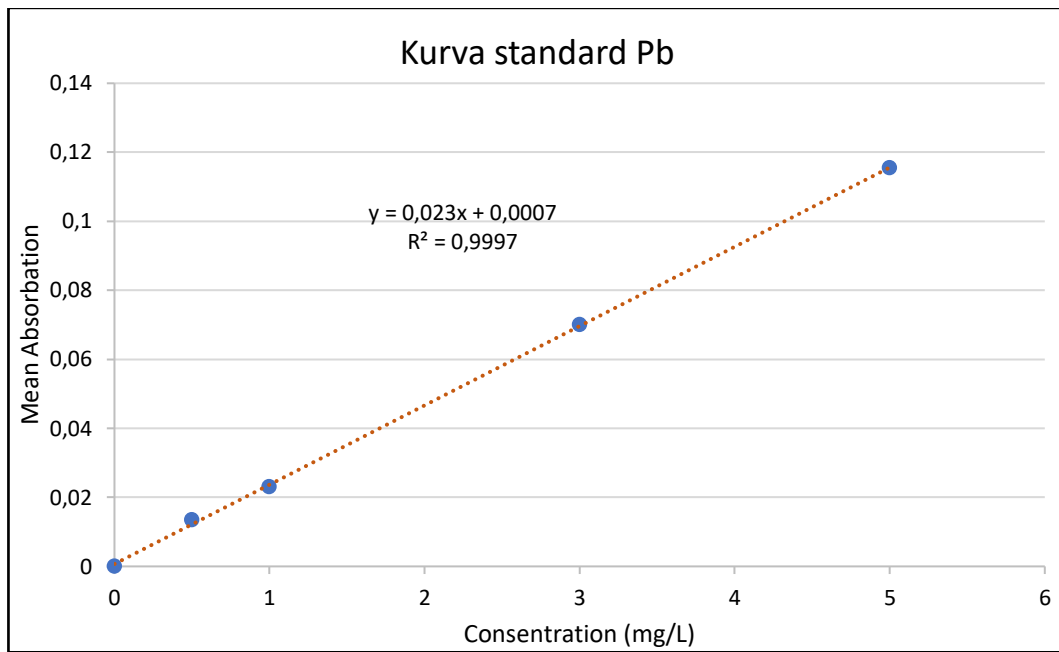
- Suriyani, I., & Khotijah, S. 2013. Kajian Islam Dalam Masalah Lingkungan Hidup di Kota Samarinda. *Risalah Hukum Fakultas Hukum Unmul*. 9(1).
- Suryadi, Isna, A., & Ulli, K. (2017). Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 5(1).
- Suryani, E. (2017). Efek Kalium Terhadap Cekaman Kekeringan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) Setelah di Inokulasi dengan Mikoriza (*Rhizoctonia* sp.) Secara In Vitro. *Skripsi*. Lampung: Jurusan Biologi Universitas Lampung.
- Suryatna, Y. (2013). Nilai-nilai Pendidikan Lingkungan Hidup Dalam Perspektif Al-Qur'an. *Jurnal Inspirasi Fakultas Adadin*. 10(3): 111-126.
- Syafriliansyah, M. W., & Purnomo, T. (2022). Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Tumbuhan Aquatik dan Air sebagai Indikator Kualitas Air Sungai Brangkal Mojokerto. *Lentera Bio*. 11(2): 341-350.
- Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants Through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. 939161: 1-31.
- Thakur, S., Singh, L., Wahid, Z. A., Siddiqui, M. F., Atnaw, S. M., & Fadhil, M. (2016). Plant-Driven Removal of Heavy Metals from Soil: Uptake, Translocation, Tolerance Mechanism, Challenges, and Future Perspectives. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188(206).
- Thuraidah, A., Puspita, E. I., & Oktiyan, N. (2016). Pengaruh Genjer (*Limnocharis flava*) Terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Industri Karet. *Medical Laboratory Technology Journal*. 2 (1): 6-10.
- Umar, M. A., Baiquni, M., & Ritohardoyo, S. (2011). Peran Masyarakat dan Pemerintah Dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik di Wilayah Ternate Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*. 25(1): 42-54.
- Usman. (2021). *Modul Kimia Organik Lanjut*. FKIP-UNMUL.
- Vidyanti, R.A., Warno, S. E., & Rokhmalia, F. (2019). Fitoremediasi Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Pada Air Sumur. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Poltekkes Kemenkes Surabaya*. 2(1): 94-97.
- Violita, L., Apriani, I., & Sulastri, A. (2022). Kemampuan Tanaman Kangkung Air dalam Menurunkan Krom Heksavalen (Cr^{6+}) Pada Limbah Cair Sablon. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*. 3(1): 37-44.
- Wahidin, A. (2010). *Modul Pelatihan Instrumentasi SSA*. Laboratorium Terpadu UII.
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto. (2015). Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri dan Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 10(2): 246-254.
- Widya, C., Badrus, Z., & Syafrudin. (2015). Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(2): 1-8.
- Widyarani, Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T., & Sintawardani, N. (2022). Domestic Wastewater In Indonesia: Generation, Characteristics and Treatment. *Environmental Science and Pollution Research*. 29: 32397-32414.

- Widyawati, M. E., & Sunu, K. (2021). Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*. 10(1): 77–85.
- Wongpun, N., Sukkasem, P., & Prabpai, S. (2018). Phytoremediation of Contaminated Water with Heavy Metals by Using Water Spinach (*Ipomoea aquatica*). *International Journal of Environmental Science and Development*. 9(12), 369-373.
- Wulandari, S., & Sibarani, L. (2018). Study of Gold Phytomining from Tailing of Amalgamation Using Wild-Cassava (*Manihot glaziovii* L.). *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*. 10(1): 44–53.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach For Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*. 11, 359.
- Yuliana, M., Tengku, S. R., & Zulfikar, A. (2013). Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi Orthofosfat pada Detergen dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Journal Marine Science and Fisheries Maritim Raja Ali Haji of University*. 1, 1-6.
- Yuliani, D.E., Sitorus, S. dan T. Wirawan, T. (2013). Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (II) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 10(2): 68-73.
- Yuniati, M. D., & Sari, N. P. (2013). Heavy Metal Contamination in Paddy Soil and Rice Plant (*Oryza sativa*) in South Sumatera, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*. 18(3): 189-195.
- Zhang, X., Wang, Y., Li, Z., Chen, H., & Liu, J. (2023). Accumulation and sedimentation of lead (Pb) in the sediments of Lake Dianchi, China. *Environmental Pollution*. 300, 118933.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



Lampiran 2. Kurva Standart Logam Berat Timbal (Pb)

Perlakuan		Konsentrasi Pb (mg/L)						Rerata Konsentrasi Pb (mg/L)					
		Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12	Hari ke-15	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12	Hari ke-15
Kontrol (1)	K	3,83	1,87	0,64	0,75	0,57	0,47	3,81	2,08	0,75	0,79	0,56	0,60
Kontrol (2)	K	3,83	2,2	0,85	0,92	0,46	0,57						
Kontrol (3)	K	3,76	2,16	0,75	0,71	0,64	0,77						
<i>I. aquatica</i> (1)	P1	2,68	0,96	0,3	0,35	0,25	0,27	2,97	0,69	0,43	0,19	0,14	0,24
<i>I. aquatica</i> (2)	P1	3,07	0,55	0,47	0,14	0,1	0,17						
<i>I. aquatica</i> (3)	P1	3,17	0,55	0,51	0,07	0,07	0,28						
<i>L. flava</i> (1)	P2	3,65	0,64	0,44	0,17	0,12	0,13	3,23	0,60	0,38	0,16	0,13	0,11
<i>L. flava</i> (2)	P2	3,03	0,63	0,41	0,17	0,12	0,09						
<i>L. flava</i> (3)	P2	3,02	0,52	0,28	0,13	0,15	0,12						
Kombinasi P1&P2 (1)	P3	3,69	0,5	0,41	0,28	0,22	0,35	3,30	0,63	0,36	0,21	0,18	0,33
Kombinasi P1&P2 (2)	P3	3,04	0,75	0,4	0,2	0,21	0,19						
Kombinasi P1&P2 (3)	P3	3,17	0,65	0,28	0,14	0,11	0,33						

Lampiran 4. Data Pengukuran TDS

TDS			
Hari ke-0			
K	P1	P2	P3
212	255	220	228
224	241	239	223
218	241	220	200
218	245,7	226,3	217

TDS			
Hari ke-3			
K	P1	P2	P3
227	247	237	234
226	227	245	248
233	268	239	230
228,7	247,3	240,3	237,3

TDS			
Hari ke-6			
K	P1	P2	P3
248	273	248	255
264	261	264	246
249	268	249	265
253,7	267,3	253,7	255,3

TDS			
Hari ke-9			
K	P1	P2	P3
231	273	263	258
234	264	265	260
224	268	261	297
229,7	268,3	263,0	271,7

TDS			
Hari ke-12			
K	P1	P2	P3
226	285	265	276
255	275	289	275
241	280	275	280
240,7	280,0	276,3	277

TDS			
Hari ke-15			
K	P1	P2	P3
271	390	293	334
267	339	335	293
275	390	333	387
271	373,0	320,3	338

Keterangan: warna menunjukkan nilai rata-rata.

Lampiran 5. Data Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

pH				pH			
Hari ke-0				Hari ke-3			
K	P1	P2	P3	K	P1	P2	P3
7,48	7,19	7,42	7,25	8,15	7,29	7,4	7,27
7,57	7,28	7,3	7,34	7,84	7,36	7,32	7,26
7,41	7,25	7,54	7,37	8,08	7,34	7,46	7,32
7,49	7,2	7,4	7,32	8,02	7,3	7,4	7,28

pH				pH			
Hari ke-6				Hari ke-9			
K	P1	P2	P3	K	P1	P2	P3
8,39	7,54	7,54	7,54	8,29	7,87	7,76	7,84
8,11	7,56	7,51	7,58	8,25	7,72	7,74	7,82
8,16	7,54	7,72	7,42	8,31	7,67	7,95	7,74
8,22	7,5	7,6	7,51	8,28	7,8	7,8	7,8

pH				pH			
Hari ke-12				Hari ke-15			
K	P1	P2	P3	K	P1	P2	P3
8,32	7,9	7,73	7,81	8,34	7,83	7,85	7,89
8,31	7,72	7,8	7,76	8,38	7,85	7,83	7,86
8,27	7,63	8,06	7,82	8,32	7,55	8,1	7,98
8,3	7,8	7,9	7,80	8,35	7,7	7,9	7,91

Keterangan: warna menunjukkan nilai rata-rata.

Lampiran 6. Data Pengukuran Suhu (°C)

Suhu			
Hari ke-0			
K	P1	P2	P3
28,3	29,3	28,2	29,8
28,5	29,5	28,4	28,3
28,2	28,2	29,5	29,5
28,33	29,0	28,7	29,2

Suhu			
Hari ke-3			
K	P1	P2	P3
26,6	26,5	26,7	26,6
26,6	26,6	26,7	26,6
26,7	26,6	26,6	26,6
26,6	26,6	26,7	26,6

Suhu			
Hari ke-6			
K	P1	P2	P3
26,8	26,6	26,6	28,6
26,6	28,1	26,6	26,6
26,8	26,6	28,5	26,2
26,7	27,1	27,2	27,1

Suhu			
Hari ke-9			
K	P1	P2	P3
26,6	26,2	26,6	28,1
26,7	26,6	26,8	26,6
26,6	26,6	28,1	28,3
26,6	26,5	27,2	27,7

Suhu			
Hari ke-12			
K	P1	P2	P3
24	24	24	24
24,4	24,5	24	24
24	24,5	24,8	24,5
24,1	24,3	24,3	24,2

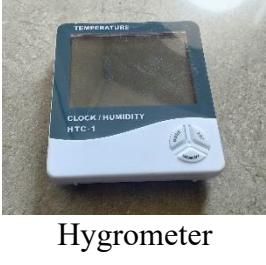
Suhu			
Hari ke-15			
K	P1	P2	P3
25,8	25,8	25,8	25,8
25,8	25,5	25,8	25,8
25,8	25,8	25,9	25,1
25,8	25,7	25,8	25,6

Keterangan: warna menunjukkan nilai rata-rata.

Lampiran 7. Morfologi Tanaman Uji Sebelum dan Setelah Perlakuan

Perlakuan	Pengamatan Hari ke-	
	0	15
<i>Ipomoea aquatica</i> (P1)		
<i>Limnocharis flava</i> (P2)		
Kombinasi <i>I. aquatica</i> dan <i>L. flava</i> (P3)		

Lampiran 8. Alat dan Bahan Penelitian

 Aquades	 HNO₃ Pekat	 Timbangan
 Kertas Saring	 Timbangan Analitik	 TDS Meter
 Botol Sampel	 Bak Reaktor	 pH Meter
 Hot Plate	 Hygrometer	 Lux Meter
 Gelas Piala 50 ml	 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)	 Gelas Ukur

Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian

 Pengambilan Tanaman Kangkung Air dan Genjer	 Persiapan Media Tanam	 Penimbangan Tanah Media Fitoremediasi
 Pengisian Air sebanyak 5 L Pada Setiap Reaktor	 Proses Aklimatisasi Tanaman Uji	 Penimbangan Biomassa Awal Tanaman Sebelum Perlakuan Fitoremediasi
 Penimbangan Bubuk $Pb(NO_3)_2$	 Pengukuran Uji Kualitas Air (pH Meter)	 Membuat larutan Pb
 Pengambilan Sampel Media Setiap 3 Hari Selama 15 hari	 Tanaman Uji Setelah Perlakuan 15 Hari	 Proses Pemanenan Tanaman
 Peimbangan Biomassa Akhir Setelah Perlakuan	 Pencatatan Bobot Basah Akhir	 Sampel Media Siap Uji AAS

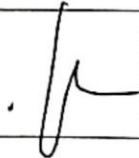


KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama : M. Ramadloni Ilyas
NIM : 200602110161
Judul : Efektivitas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) dan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) Sebagai Agen Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb)

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc	24%	



Mengetahui,

Kepa Program Studi Biologi


Dr. Evika Sandi Savitri, M.P

NIP. 19741018 200312 2 002



JURNAL BIMBINGAN
SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200602110161
Nama : M. RAMADLONI ILYAS
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Program Studi : BIOLOGI
Dosen Pembimbing 1 : BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : POTENSI TANAMAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica*) DAN TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI PENCEMARAN TIMBAL (Pb)

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	11 Mei 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan judul skripsi	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	24 Oktober 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan judul skripsi baru	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	30 Oktober 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan Bab 1	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	22 November 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Revisi Bab 1	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	23 November 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan Sub-Bab 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	24 November 2023	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Bimbingan ayat integrasi Bab 1	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	03 Januari 2024	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Revisi Bab 1 dan Bab 2	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	10 Januari 2024	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan Bab 3	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	30 April 2024	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Persiapan penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	07 Mei 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Konsultasi hasil penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	04 Juni 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Bimbingan Bab 4	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
12	04 Juni 2023	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Bimbingan integrasi Bab 4	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
13	05 Juni 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Revisi pembahasan Bab 4 & Bab 5	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
14	07 Juni 2023	BAYU AGUNG PRAHARDIKA, M.Si	Koreksi dan ACC	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
15	07 Juni 2023	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Koreksi integrasi dan ACC	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341)
572533 Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: [info@uin-](mailto:info@uin-malang.ac.id)

Telah disetujui
untuk mengajukan ujian Skripsi

Dosen Pembimbing I

Malang, 03 Juli 2024
Dosen Pembimbing II


Bayu Agung Prhardika, M.Si.
NIP. 19900807 201903 1 011


Muhammad Asmuni Hasyim, M.Si.
NIPPPK. 19870522 202321 1 016

