

**PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI REMEDIASI GENJER (*Limnocharis flava*) DAN
ADSORPSI ZEOLIT ALAM DENGAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh:
SARITI
NIM. 18630074**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI REMEDIASI GENJER (*Limnocharis flava*) DAN
ADSORPSI ZEOLIT ALAM DENGAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh:
SARITI
NIM. 18630074**

**Diajukan Kepada:
Program Studi Kimia
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 KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI REMEDIASI GENJER (*Limnocharis flava*) DAN
ADSORPSI ZEOLIT ALAM DENGAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh
SARITI
NIM.18630074**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal : 10 November 2023**

Pembimbing I



**Dr. Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007**

Pembimbing II



**Dr. Akyunul Jannah, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009**

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia**



**Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

**PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI REMEDIASI GENJER (*Limnocharis flava*) DAN
ADSORPSI ZEOLIT ALAM DENGAN VARIASI KONSENTRASI**

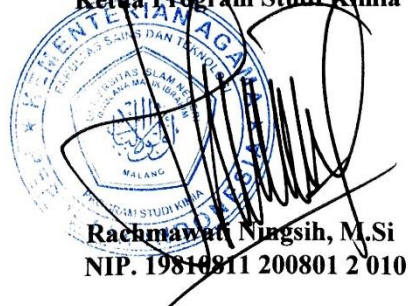
SKRIPSI

**Oleh:
SARITI
NIM. 18630074**

**Telah dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 15 Desember 2023**

Penguji utama	: Eny Yulianti, M.Si NIP. 19760611 200501 2 006	(.....)
Ketua Penguji	: Nur Aini, M.Si NIP. 19840608 201903 2 009	(.....)
Sekretaris Penguji	: Dr. Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821104 200901 2 007	(.....)
Anggota Penguji	: Dr. Akyunul Jannah, M.P NIP. 19750410 200501 2 009	(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi Kimia**


Rachman Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sariti
NIM : 18630074
Program Studi : Kimia
Fakulta : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : "Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb)
Menggunakan Metode Kombinasi Remediasi Genjer
(*Limnocharis Flava*) dan Adsorpsi Zeolit Alam dengan
Variasi Konsentrasi".

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya tulisan saya sendiri bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil karya tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber referensi pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau terdapat hasil jiplakan dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut.

Malang, 10 November 2023
Yang membuat pernyataan



Sariti
NIM. 18630074

MOTTO

At least I give it a try then keep it up

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Saipul dan Ibu Ana sebagai motivasi utama dalam proses belajar dan pengerjaan skripsi ini sehingga dapat menyelesaikan jenjang pendidikan ini. Selain itu untuk adik tersayang, Nurhayati dan seluruh keluarga besar, terimakasih atas doa dan dukungan selama proses belajar penulis. Terimakasih juga atas kesabarannya dalam menunggu kelulusan penulis. *Then we are here and get it.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, rasa syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan naskah skripsi ini dengan judul **“Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Metode Kombinasi Remediasi Genjer (*Limnocharis Flava*) dan Adsorpsi Zeolit Alam dengan Variasi Konsentrasi”** dengan semaksimal mungkin walaupun masih terdapat banyak kekurangan. Semoga apa yang penulis upayakan dalam skripsi ini memberikan manfaat kepada pembaca. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah menuntun kita sehingga kita dapat merasakan nikmat iman dan islam. Selanjutnya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Saipul dan Ibu Ana selaku orang tua tersayang, serta adik tercinta, Nurhayati yang selalu mendoakan, memotivasi dan mendukung secara materi, tenaga, dan waktu kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu Dr. Suci Amalia, M. Sc dan Ibu Dr. Akyunul Jannah, M.P selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Eny Yulianti dan Ibu Nur Aini selaku dosen penguji yang telah memberikan, masukan, dan saran sehingga penulis dapat mengembangkan penulisan skripsi lebih baik lagi.
7. Bapak Ahmad Hanapi, M.Sc selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.

8. Seluruh dosen, laboran, dan staff administrasi program studi kimia yang telah membantu, memberikan ilmu, pengalaman serta wawasan selama perkuliahan bagi penulis.
9. Keluarga besar, serta sahabat saya, Shella Anggraini yang selalu menanyakan kapan saya wisuda sembari mendoakan dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan skripsi ini.
10. Teman-teman kimia angkatan 2018 khususnya Saidah dan Anwar yang selalu siap membantu, menemani serta mendukung dan memberi masukan kepada penulis selama perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.
11. Semua pihak yang turut ikut membantu dalam pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
12. Terakhir, ucapan terimakasih kepada diri sendiri karena sudah berusaha mencoba serta berani untuk menyelesaikan skripsi dan menuntaskan jenjang perkuliahan ini.

Semoga amal perbuatan dan usaha semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini dibalas dan diridhoi oleh Allah Swt. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar penulis dapat lebih baik lagi dalam penulisan skripsi maupun karya tulis lainnya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pembaca dan terkhusus bagi penulis sendiri.

Malang, 10 November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR PERSAMAAN	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Logam Berat Timbal (Pb)	7
2.2 Tanaman Genjer (<i>Limnocharis flava</i>) sebagai Agen Fitoremediasi	8
2.2.1 Mekanisme Penyerapan Logam Timbal (Pb) oleh Genjer	11
2.3 Zeolit Alam sebagai Adsorben	12
2.4 Destruksi	13
2.5 Analisis Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)	15
2.6 Fitoremediasi Genjer dan Adsorpsi Zeolit Alam terhadap Logam Pb dalam Perspektif Islam	17
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Rancangan Penelitian	19
3.4 Tahapan Penelitian	20
3.5 Metode Penelitian	21
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman Genjer, Zeolit Alam dan Air ...	21
3.5.2 Aklimatisasi Sampel	21
3.5.3 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam	25
3.5.4 Preparasi Larutan Logam Timbal (Pb)	22

3.5.5	Proses Fitoremediasi Genjer terhadap Logam Berat Pb	22
3.5.6	Pemaparan Kombinasi Genjer dan Zeolit Alam dengan Logam Berat Pb	22
3.5.7	Destruksi Sampel Genjer	23
3.5.8	Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) pada menggunakan Instrumentasi SSA	24
3.6	Analisis Data	24
3.6.1	Pembuatan Kurva Standar	24
3.6.2	Penentuan Kadar Logam Timbal dalam Tanaman Genjer	25
3.6.3	Penentuan Nilai BCF Tanaman Genjer	25
3.6.4	Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb	26
3.6.5	Analisis Statistik	26
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Preparasi Sampel	27
4.1.1	Aklimatisasi Tanaman Genjer	27
4.1.2	Aktivasi Zeolit Alam	28
4.2	Penentuan Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Genjer (<i>Limnocharis flava</i>) Secara Fitoremediasi	29
4.2.1	Penentuan Kadar Logam Pb dalam Biomassa Genjer	29
4.2.2	Penentuan Biokonsentrasi Faktor (BCF)	31
4.2.3	Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb oleh Genjer	33
4.3	Penentuan Penurunan Kadar Logam Pb Terserap oleh Kombinasi Remediasi Genjer dan Adsorpsi Zeolit Alam	34
4.3.1	Penentuan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dalam Genjer	34
4.3.2	Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb dalam Limbah	36
4.4	Pengaruh Penambahan Zeolit Alam terhadap Penurunan Kadar Logam Pb	38
4.5	Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Menggunakan One Way ANOVA	39
4.6	Integrasi Penelitian dalam Perspektif Islam	40
BAB V	PENUTUP	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme fitoremediasi terhadap logam berat	9
Gambar 2.2 Tanaman genjer (<i>Limnocharis flava</i>)	10
Gambar 2.3 Reaksi fitokelatin dengan ion Pb (II)	11
Gambar 2.4 Proses atomisasi	15
Gambar 4.1 Genjer setelah diaklimatisasi	27
Gambar 4.2 Zeolit alam setelah diaktivasi	28
Gambar 4.2 Nilai BCF pada akar, batang, dan daun	32
Gambar 4.3 Persentase penurunan kadar logam Pb	37

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 Regresi linier.....	24
Persamaan 3.2 Penentuan kadar logam Pb dalam bentuk biomassa	25
Persamaan 3.3 Penentuan nilai Bioconcentration factor (BCF)	25
Persamaan 3.4 Penentuan persentase penurunan konsentrasi logam Pb	26

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Visualisasi pemaparan sampel	22
Tabel 3.2 Visualisasi pemaparan sampel secara kombinasi	23
Tabel 4.1 Konsentrasi Pb sebelum pemaparan	28
Tabel 4.2 Rata-rata konsentrasi logam Pb dalam biomassa Genjer	29
Tabel 4.3 Rata-rata persentase penurunan logam Pb	33
Tabel 4.4 Rata-rata konsentrasi Pb terserap pada sistem <i>batch</i>	35
Tabel 4.5 Rata-rata Konsentrasi Pb terserap pada sistem kontinyu	36
Tabel 4.6 Perbandingan rata-rata persentase penurunan konsentrasi logam Pb.	38
Tabel 4.7 Hasil uji statistika <i>one way</i> ANOVA	40
Tabel 4.8 Hasil uji BNT	40
Tabel L3.4.1 Kosentrasi Pb dalam akar Genjer	62
Tabel L3.4.2 Konsentrasi Pb dalam batang Genjer	63
Tabel L3.4.3 Konsentrasi Pb dalam daun Genjer	63
Tabel L3.5 Nilai BCF tiap bagian tanaman	64
Tabel L3.6.1 Konsentrasi Pb dalam Genjer sistem <i>batch</i>	65
Tabel L3.6.2 Konsentrasi Pb dalam Genjer sistem kontinyu	65
Tabel L3.7.1 Persen penurunan konsentrasi logam Pb secara fitoremediasi	66
Tabel L3.7.2 Persen penurunan konsentrasi logam Pb secara sistem <i>batch</i>	66
Tabel L3.7.3 Persen penurunan konsentrasi logam Pb secara sistem kontinyu ..	66
Tabel L3.7.4 Selisih persen penurunan tiga metode	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian	52
Lampiran 2. Diagram Alir	53
Lampiran 3. Perhitungan	58
Lampiran 4. Hasil Analisis One way Anova dan Uji BNT Anova	67
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian	70

ABSTRAK

Sariti.2023. Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Metode Kombinasi Remediasi Genjer (*Limnocharis Flava*) dan Adsorpsi Zeolit Alam dengan Variasi Konsentrasi. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: Dr. Akyunul Jannah, M.P.

Kata kunci: Remediasi Genjer, adsorpsi zeolit alam, logam Pb, penurunan kadar.

Tingkat kerusakan lingkungan akibat limbah logam Pb semakin mengalami peningkatan sehingga mengancam kehidupan makhluk hidup. Salah satu cara untuk mengatasi lingkungan yang tercemar akibat logam Pb adalah fitoremediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam terhadap logam berat Pb. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan konsentrasi logam berat Pb di perairan menggunakan kombinasi remediasi Genjer (*Limnocharis flava*) dan adsorpsi zeolit alam pada berbagai variasi konsentrasi limbah. Selain itu juga untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit alam pada proses fitoremediasi.

Tahapan dalam penelitian ini yaitu preparasi sampel yaitu aklimatisasi Genjer selama 7 hari dan aktivasi zeolit alam menggunakan HCl 3M. Kemudian Genjer tanpa adsorben dipapar dengan logam Pb variasi konsentrasi 5, 10, dan 20 mg/L selama 6 hari. Selanjutnya Genjer dikombinasikan dengan zeolit alam dipaparkan dengan logam Pb dengan variasi konsentrasi logam yang sama. Sampel Genjer dan air didestruksi secara basah tertutup menggunakan *microwave digestion* lalu dianalisis kadar logam Pb menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Hasil analisis terhadap penurunan konsentrasi logam Pb di perairan menunjukkan bahwa penurunan tertinggi secara fitoremediasi sebesar 67,8%. Sedangkan penurunan tertinggi menggunakan metode kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam adalah sebesar 96,8% pada sistem kontinyu dan 94,25 pada sistem *batch*. Hal tersebut menunjukkan bahwa kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam dapat meningkatkan penyerapan konsentrasi logam Pb di perairan lebih dari 25%.

ABSTRACT

Sariti.2023. Reduction of Lead (Pb) Heavy Metal Levels Using Combination Method of Genjer (*Limnocharis Flava*) Remediation and Natural Zeolite Adsorption with Variations of Concentrations. Thesis. Departement of Chemistry Program Faculty of Science and Technology Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc. Supervisor II: Dr. Akyunul Jannah, M.P.

Keywords: Genjer remediation, adsorption of natural zeolite, Pb metal, levels reduction.

The level of environmental damage caused by Pb metal waste is increasing so that threatening the lives of living things. One way to deal with an environment polluted by Pb metal is by Genjer phytoremediation and natural zeolite adsorption. This research aims to determine the reduction in the concentration of the heavy metal Pb in waters using a combination of Genjer (*Limnocharis flava*) remediation and natural zeolite adsorption at various concentrations. Apart from that, it is also to determine the effect of adding natural zeolite on the phytoremediation process.

The stages in this research are sample preparation begin by Genjer (*Limnocharis flava*) acclimatization for 7 days and activation of natural zeolite using 3M HCl. Then Genjer (*Limnocharis flava*) without adsorbent was exposed to Pb metal in variation of concentrations of 5, 10, and 20 mg/L for 6 days. Next, Genjer (*Limnocharis flava*) combined with natural zeolite is exposed to Pb metal with the same concentration variations. Genjer and water samples were wet-detruction using microwave digestion and then analyzed Pb metal content using an Atomic Absorption Spectroscopy (SSA) instrument.

The results of the analysis of the reduction in Pb metal concentration in waters showed that the highest concentration reduction using phytoremediation was 67,8%. Meanwhile, the highest concentration reduction using the combination method of Genjer remediation and natural zeolite adsorption was 96,8% for continuous system and 94,25% for batch system. This showed that the addition of natural zeolite in the remediation process can increase the absorption of Pb metal concentrations in waters up to 25%.

مستخلص البحث

ساريتي.2023. تقليل مستويات الرصاص المعدني الثقيل الرصاص (Pb) باستخدام طريقة الجمع بين معالجة الجنجير (*Limnocharis flava*) وامتصاص الزيوليت الطبيعي على إختلافات في التركيز. البحث العلمي . برنامج دراسة الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. سوسي أماليا، ماجستير؛ المشرف الثاني : د. أعيون الجنة ماجستير .

الكلمات المفتاحية: معالجة الجنجر، امتزاز الزيوليت الطبيعي، معدن الرصاص، اختزال المحتوى

يتزايد مستوى الأضرار البيئية الناجمة عن نفايات معدن الرصاص، مما يهدد حياة الكائنات الحية. إحدى طرق التعامل مع البيئة الملوثة بالمعدن Pb هي المعالجة النباتية Genjer وامتزاز الزيوليت الطبيعي للمعدن الثقيل Pb. يهدف هذا البحث إلى تحديد الانخفاض في تركيز المعدن الثقيل Pb في المياه باستخدام مزيج من معالجة Genjer (*Limnocharis flava*) وامتزاز الزيوليت الطبيعي عند تراكيز مختلفة من النفايات. إنه سهل الاستخدام للغاية دون أي مشكلة.

إذا كان لون القلم مختلفًا، فيمكن استخدام نفس العينة لإزالة 7 مل من الماء واستخدامها لإزالة $M HCl3$. ثم تم تعريض جنجر بدون الممتزات إلى معدن الرصاص بتركيزات مختلفة 5، 10، و 20 ملغم/لتر لمدة 6 ساعات. يحتوي هذا النوع من المولدات على أنواع مختلفة من مناطق التخزين ومناطق تسجيل دخول مختلفة. تم إزعاج عينات المولد والهواء باستخدام هضم الميكروويف ثم تحليلها بحثًا عن محتوى معدن الرصاص باستخدام أداة التحليل الطيفي للامتصاص الذري (SSA).

أظهرت نتائج تحليل التخفيض في تراكيز معدن الرصاص في المياه أن أعلى انخفاض بلغ 67.8% بالمعالجة النباتية. وفي الوقت نفسه، كان أعلى انخفاض باستخدام مزيج من معالجة الجنجر وامتزاز الزيوليت الطبيعي 96.8% في النظام المستمر و 94.25% في نظام الدفع. هناك العديد من الأشخاص الذين يرغبون في معالجة المنتج واستخدامه لتوفير المال مع تسجيل سعر الرصاص لكل هواء بنسبة 25%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan lingkungan semakin meningkat setiap harinya sehingga dapat mengancam kehidupan makhluk hidup. Penyebab utama kerusakan lingkungan yaitu akibat peristiwa alam dan ulah manusia. Tingkat kerusakan lingkungan akibat ulah manusia lebih besar dibandingkan dengan kerusakan akibat peristiwa alam. *High Level Threat Panel, Challenges and Change* PBB (2003) menyatakan bahwa kerusakan lingkungan merupakan satu dari sepuluh ancaman serius bagi kehidupan manusia. Dalam Al-Quran juga sudah dijelaskan bahwa kerusakan yang terjadi di alam merupakan hasil dari perbuatan tangan manusia.

Allah Swt berfirman dalam Al-Quran surah Ar-Rum ayat 41 :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (الروم: ٤١)

Artinya : *Telah tampak kerusakan di darat dan di laut akibat dari perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (QS Ar-Rum : 41).*

Berdasarkan ayat tersebut Allah menjelaskan bahwa terjadinya kerusakan (*Al-fasaad*) disebabkan perbuatan manusia. Nurhayati *et al.*, (2018) mengartikan *Al-fasaad* dalam ayat tersebut diartikan sebagai kerusakan lingkungan. Kerusakan ini bisa terjadi di darat, lautan maupun udara yang merupakan tempat tinggal makhluk hidup. Kerusakan tersebut diakibatkan oleh hawa nafsu manusia untuk mengeksploitasi alam beserta isinya yang mengesampingkan kelestarian alam dan kaidah ekologi yang berlaku yang dapat menciptakan krisis ekologi (Fata, 2014). Ayat tersebut juga menjadi pengingat manusia agar tetap menjaga lingkungan. Kerusakan yang terjadi dapat berupa pencemaran yang terjadi di lingkungan. Selain itu, kerusakan dapat berupa ciptaan Allah yang sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi seperti keberagaman flora dan fauna yang semakin rusak dan punah. Salah satu contoh kerusakan lingkungan yaitu sisa buangan dari hasil aktivitas manusia berupa cemaran logam berat timbal ke perairan yang dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan.

Kerusakan lingkungan berupa pencemaran air akibat paparan limbah logam berat semakin meningkat dan menjadi kerusakan paling nyata di lingkungan. Pencemaran air menjadi ancaman penting bagi manusia karena air merupakan sumber kehidupan (Nasution *et al.*, 2021). Badan Pusat Statistika (2021) mencatat bahwa perairan di Indonesia sebanyak 46% dalam kondisi tercemar berat. Selanjutnya Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2021) menyebutkan jumlah limbah cair yang ada di Indonesia mencapai 1.311 ton. Salah satunya limbah logam berat yang berasal dari aktivitas industri. Limbah logam berat akan sangat berbahaya karena mengalami akan peningkatan konsentrasi kimia di lingkungannya (Verma & Dwivedi, 2017). Limbah logam berat menjadi permasalahan penting karena logam berat merupakan unsur metaloid yang merugikan (Rijal, *et al.*, 2016).

Salah satu limbah logam berat yang mencemari perairan adalah timbal (Pb). Keberadaan logam timbal yang mencemari perairan ternyata sudah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Salah satunya yaitu lahan persawahan di sekitar sungai Cikijing di Rancaekek, Kabupaten Bandung tercemar logam timbal (Pb) dari limbah tekstil dengan kadar 1,38 mg/L (Komarawidjaja, 2017). Kandungan timbal (Pb) dalam limbah tersebut berasal dari zat pewarnanaan tekstil. Limbah cair tersebut sudah mencemari lahan pertanian dan sumber air bersih bagi masyarakat sekitarnya. Kadar yang dibuang ke sungai tersebut sudah melebihi batas baku mutu limbah yang telah ditetapkan. Aturan yang ditetapkan oleh KMNLH No. 51 (2004) ambang batas baku mutu limbah logam Pb yaitu 0,01 mg/L.

Timbal (Pb) merupakan racun anorganik yang diserap melalui makanan, air minum, dan inhalasi (Fu dan Xi, 2020). Timbal (Pb) bersifat karsinogenik dan sulit terurai dalam waktu singkat serta bersifat bioakumulasi. Sifat toksik logam berat juga dapat mempengaruhi kualitas air (Sonone *et al.*, 2020). Dampak buruk akibat paparan logam timbal terhadap manusia yaitu menyebabkan kerusakan sendi, sistem reproduksi dan kardiovaskular (Sharma *et al.*, 2016) serta menyebabkan anemia dan penurunan kadar hemoglobin dalam darah (Windusari *et al.*, 2019). Keberadaan logam berat di perairan juga dapat menyebabkan kerusakan bahkan membunuh organisme akuatik (Rahmawati, 2020). Paparan timbal pada organisme akuatik dapat menyebabkan edema dan nekrosis pada ikan nila serta

hepatopankreas pada udang galah (Pratiwi, 2020). Keberadaan logam berat jika dibiarkan terus menerus berada di lingkungan dengan konsentrasi tinggi maka akan mengancam ekosistem (Alikasturi *et al.*, 2019). Oleh karena itu, limbah dengan kadar logam berat tinggi harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan agar keseimbangannya tetap terjaga (Dewayani & Haryanto, 2021).

Salah satu alternatif untuk mengatasi lingkungan yang tercemar akibat logam berat adalah fitoremediasi terhadap logam berat. Fitoremediasi merupakan teknologi pemulihan lahan tercemar menggunakan tanaman hijau. Kemampuan tanaman tersebut dapat mengakumulasi logam berat yang tercemar dengan menyerap polutan organik dan anorganik menggunakan tanaman herba, akuatik dan pohon sebagai perantara. Teknik ini merupakan teknik murah serta mudah (Wei *et al.*, 2021) dan aman untuk menangani lingkungan tercemar logam berat (Nasution *et al.*, 2021). Salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk meremediasi lingkungan tercemar logam berat yaitu Genjer (Alikasturi *et al.*, 2019). Tanaman memiliki kemampuan maksimum dalam menyerap logam berat pada konsentrasi tertentu sehingga untuk memaksimalkan penyerapan logam dengan konsentrasi cukup tinggi maka dibutuhkan penambahan adsorben. Adsorben yang umum digunakan yaitu zeolit, karbon aktif, tanah lempung, dan biomassa (Cut Raziah *et al.*, 2017). Proses ini terjadi proses penyerapan suatu zat (adsorbat) oleh permukaan zat lain (adsorben) akibat gaya tarik molekul yang terjadi antara adsorbat dan adsorben yang disebut adsorpsi. Adsorben memiliki kemampuan adsorpsi yang baik salah satunya yaitu zeolit alam (Ngapa & Gago, 2019).

Sebuah penelitian oleh Lestari *et al.* (2017) tentang fitoremediasi Genjer terhadap logam berat timbal (Pb) menginformasikan bahwa efisiensi penyerapan maksimum oleh Genjer terhadap Pb (II) sebesar 90,31%; Cd (II) sebesar 83,70% dan Cr (IV) sebesar 43,98% selama 6 hari. Hal ini menunjukkan bahwa Genjer sangat berpotensi dalam mengakumulasi logam berat timbal (Pb) yang ada di perairan. Dalam penelitian tersebut juga dijelaskan, rata-rata konsentrasi tertinggi yang terakumulasi oleh tanaman Genjer terhadap Pb (II) adalah 326,21 mg/Kg; Cd (II) adalah 278,50 mg/Kg dan Cr (II) 288 mg/Kg. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rijal *et al.* (2016) menyebutkan Genjer dapat meremediasi logam

Pb, Cd, dan Hg dalam 5 liter limbah simulasi selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan Genjer menyerap logam Pb, Cd, dan Hg sebanyak 89,97%, 63,56, dan 74,38%. Tanaman Genjer akan menyerap limbah semakin besar seiring dengan waktu tinggal Genjer dalam limbah (Herlambang dan Hendriyanto, 2015). Selanjutnya, dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Fitria (2015) disebutkan bahwa fitoremediasi terhadap logam berat Pb dan Cu sebesar 5 ppm menggunakan tanaman air selama 16 hari. Presentase penyerapan oleh tanaman kangkung air, Genjer, dan seledri masing-masing sebesar Cu yaitu 77,85%, 70,5%, 59,8% dan Pb sebesar 86,5%, 82,6% serta 70,6%. Genjer dapat mengakumulasi logam timbal (Pb) lebih banyak dibandingkan dengan logam Fe dan Mn. Hal ini yang menjadikan Genjer sebagai agen fitoremediasi timbal (Pb) (Kurniawan *et al.*, 2022).

Upaya dalam meningkatkan penyerapan logam berat timbal (Pb) oleh Genjer maka dibutuhkan penambahan adsorben berupa zeolit alam. Zeolit alam adalah adsorben yang paling banyak digunakan karena selektivitas yang tinggi (Renni *et al.*, 2018), kemampuan adsorpsi tinggi (Solikah & Utami, 2014), serta ekonomis dan aman (Rahmi & Sajidah, 2017). Nasution *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa air terkontaminasi logam berat mengalami penurunan kadar logam berat timbal (Pb) menggunakan fitoremediasi tanaman apu-apu dan penambahan zeolit. Penurunan kadar Pb mencapai 99,07%. Dalam penelitian lain disebutkan bahwa kombinasi fitoremediasi dan zeolit alam berperan dalam menurunkan kadar timbal (Pb) dalam limbah air lindi dengan presentase sebesar 82,2% dan kadar kromium Cr sebesar 61,2% (Suharto *et al.*, 2011).

Berdasarkan uraian tersebut maka akan dilakukan penelitian tentang fitoremediasi menggunakan tanaman Genjer dan adsorpsi zeolit alam secara kombinasi. Selain itu juga akan membandingkan fitoremediasi dan kombinasi remediasi-adsorpsi dalam upaya menurunkan kadar logam timbal dalam limbah artifisial dengan variasi konsentrasi logam timbal (Pb) 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L selama 6 hari pemaparan. Pengukuran kadar Pb yang diserap menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Parameter penurunan berdasarkan pada persentase penurunan konsentrasi logam Pb dalam limbah artifisial.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb) menggunakan remediasi Genjer dengan variasi konsentrasi logam Pb?
2. Bagaimana penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb) menggunakan kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam pada sistem *batch* dan sistem kontinyu?
3. Bagaimana efektivitas penambahan zeolit alam dalam remediasi Genjer terhadap penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui efektivitas remediasi Genjer dalam menurunkan kadar limbah logam berat timbal (Pb).
2. Untuk mengetahui efektivitas kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam dalam menurunkan kadar limbah logam berat timbal (Pb).
3. Untuk mengetahui efektivitas penambahan zeolit alam pada fitoremediasi Genjer terhadap penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel tanaman Genjer diambil dari persawahan Pagelaran, Kabupaten Malang, Jawa Timur.
2. Limbah artifisial dibuat dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ anhidrat.
3. Variasi konsentrasi logam Pb yang digunakan adalah 5, 10, dan 20 mg/L.
4. Waktu pemaparan dilakukan selama 6 hari.
5. Analisis biomassa dilakukan pada bagian akar, batang, dan daun pada metode fitoremediasi dan biomassa keseluruhan pada metode kombinasi.
6. Kontrol dan analisis dilakukan terhadap tanaman Genjer dan air.
7. Kandungan logam Pb yang diserap oleh zeolit alam tidak ditentukan.
8. Karakterisasi kadar logam timbal (Pb) ditentukan menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

1.5 Manfaat

Manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui potensi tanaman Genjer sebagai agen remediasi di perairan tercemar.
2. Mengetahui fungsi penambahan zeolit alam dalam remediasi logam timbal (Pb) menggunakan tanaman Genjer.
3. Sebagai bahan studi lanjutan tentang penelitian penurunan kadar limbah logam Pb menggunakan tanaman Genjer dan penambahan zeolit alam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat Timbal (Pb)

Logam berat adalah logam yang memiliki densitas antara $3,5 - 7 \text{ g/cm}^3$. Logam berat merupakan logam non esensial serta racun bagi makhluk hidup di tingkat tertentu. Logam berat memiliki sifat yang toksik, sulit terurai dan terdegradasi namun mudah diadsorpsi (Irianti *et al.*, 2017). Logam berat hanya dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah yang sangat kecil sehingga jika masuk ke dalam tubuh organisme dengan jumlah yang cukup tinggi akan mengganggu fungsi fisiologis tubuh. Logam berat yang masuk ke tubuh akan terakumulasi sehingga dapat menimbulkan efek negatif berupa gangguan kesehatan (Naria, 2005). Logam berat juga merupakan polutan lingkungan yang berbahaya karena sifatnya yang sulit terurai dan terdegradasi. Beberapa logam berat yang menjadi berbahaya yaitu tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), zink (Zn), kadmium (Cd), dan krom (Cr) (Duruibe *et al.*, 2007).

Timbal (Pb) adalah logam kuno dan dapat dideteksi di hampir semua fase inert lingkungan dan sistem biologis yang berwarna abu-abu kebiruan dan memiliki massa atom relatif sebesar 207,19 g/mol (Svehla, 1979). Timbal adalah salah satu logam yang pertama kali ditemukan oleh manusia dan dalam konsentrasi kecil mudah ditemukan. Keberadaan timbal dari sumber alami lebih rendah dibandingkan dengan timbal yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Sifat unik dari timbal yaitu lunak, lentur, titik leleh rendah, dan ketahanan terhadap korosi menjadikannya logam yang paling banyak digunakan di bidang industri (Casas dan Sordo, 2006). Timbal digunakan sebagai aditif bahan bakar untuk memperbaiki mutu bahan bakar, anti knocking, anti korosi dan diaktifator logam serta digunakan dalam industri dan produk rumah tangga (Tangio, 2013). Hasil kegiatan industri seperti pertambangan, peleburan, pemurnian, dan manufaktur bisa menghasilkan timbal akan terlepas dan terakumulasi ke udara, air, dan permukaan tanah sehingga membahayakan ekosistem (Casas dan Sordo, 2006). Menurut Yulaipi dan Aunurrohim (2013) timbal adalah logam yang beracun dan banyak ditemukan sebagai pencemar dan pengganggu organisme perairan.

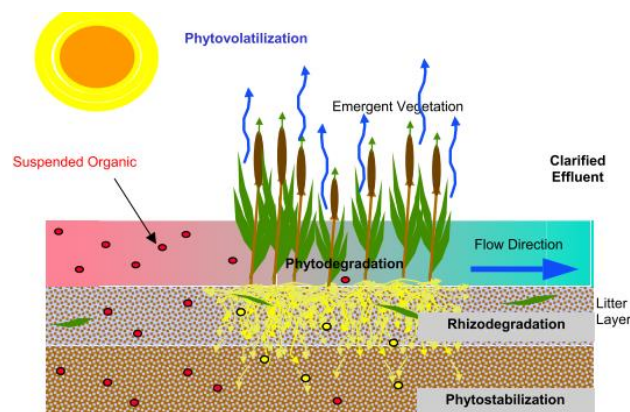
Keracunan timbal pada manusia menyebabkan disfungsi pada ginjal, kerusakan sistem saraf pusat dan sistem reproduksi seperti kemandulan (Sharma *et al.*, 2016) serta menyebabkan gastrointestinal, menurunnya kesadaran, hipertensi, penurunan intelegensia pada anak hingga perubahan tingkah laku serta gangguan pada sistem haemopoitik (Windusari *et al.*, 2019). Sedangkan keberadaan timbal di perairan dapat mengancam kehidupan invertebrata, ikan, serta manusia yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan ekologi lingkungan dan keragaman akuatik (Atici *et al.*, 2010). Palar (2004) menjelaskan jika biota perairan menyerap makanannya dari perairan dengan resiko kontaminasi logam berat maka melalui rantai makanan, biota yang terkontaminasi dikonsumsi oleh makhluk hidup akan meracuni makhluk hidup tersebut. Maka dari itu keberadaan logam berat sangat berbahaya bagi ekosistem.

2.2 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) sebagai Agen Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknologi berbasis tanaman yang menggunakan tanaman alami untuk mengurangi, menghilangkan, menurunkan, atau melumpuhkan racun lingkungan menggunakan tanaman hijau baik tanaman tanah maupun air (ITRC, 2003). Kemampuan tanaman tersebut meliputi mendegradasi, mengakumulasi serta menyerap senyawa melalui akar. Pada proses ini akan melewati tiga tahap yaitu penyerapan dari larutan, perpindahan menuju xylem pada akar, dan perpindahan menuju tunas (Hidayati, 2005). Keuntungan dari fitoremediasi yaitu penggunaan tumbuhan alami, membutuhkan peralatan dan tenaga kerja yang relatif lebih sedikit karena tanaman melakukan sebagian besar pekerjaan, lokasi dapat dibersihkan tanpa menggali dan mengangkut tanah atau memompa air tanah yang dapat menghemat energi (Sharma *et al.*, 2016). Fitoremediasi dapat memberikan hasil yang baik dan efektif dalam meremediasi lingkungan dengan cara menyerap kontaminan sehingga polutan dan kontaminan akan terdegradasi dalam waktu tertentu (Etim, 2012). Dushenkov *et al.*, (1995) menjelaskan proses fitoremediasi terjadi secara alami dengan 6 mekanisme penyerapan zat kontaminan yang berbeda yang meliputi:

1. Fitoekstraksi, penyerapan polutan oleh tanaman yang disimpan di dalam bagian tubuh tanaman seperti akar, batang dan daun.

2. Fitostabilisasi, penyerapan polutan menggunakan akar dengan cara mengakumulasi polutan ke dalam jaringan tanaman seperti akar sehingga mencegah terjadinya perluasan kontaminasi polutan dalam lingkungan.
3. Fitodegradasi, penyerapan polutan oleh tanaman yang kemudian polutan akan didegradasi dengan bantuan enzim.
4. Fitostimulasi (rhizodegradasi), polutan) dengan adanya aktivitas mikroba yang hidup di sekitar tumbuhan.
5. Fitovolatilisasi, penyerapan polutan yang akan diubah menjadi senyawa yang volatil kemudian ditranspirasikan oleh tanaman ke atmosfer.
6. Rhizofiltrasi, penyerapan polutan oleh tanaman dengan konsentrasi polutan yang rendah dan secara umum terjadi pada daerah perairan.



Gambar 2.1 Mekanisme fitoremediasi terhadap logam berat (ITRC, 2003).

Salah satu tanaman air yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah Genjer yang berpotensi sebagai penyerap polutan di perairan. Tingkat efektivitas penyerapan terhadap logam berat bergantung pada kemampuan tanaman mengakumulasi dan menoleransi logam dari lingkungannya. Selain kemampuan mengakumulasi, tanaman sebagai agen remediasi harus memiliki daya pelepasan logam berat ke perairan yang cukup rendah. Ukuran toleransi setiap tanaman terhadap konsentrasi logam berat berbeda-beda yang ditandai dengan perubahan fisik tanaman. Syarat tanaman sebagai fitoremediator adalah dapat bertahan di lingkungan tercemar logam berat dengan konsentrasi tertentu. Genjer dapat menyerap konsentrasi logam pb sampai 196 ppm sehingga kemampuan ini menjadikan Genjer sebagai agen remediasi (Hidayati, 2013).

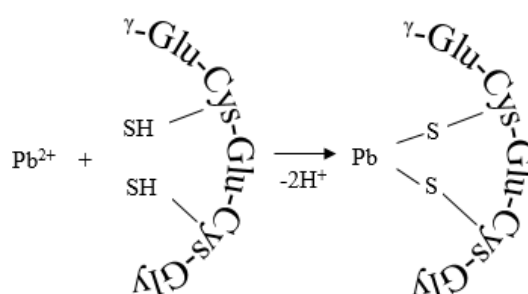


Gambar 2.2 Tanaman Genjer (Plantamor, 2008)

Genjer (*Limnocharis flava*) merupakan tanaman yang dapat digunakan untuk meremediasi polutan logam berat timbal (Pb). Rijal *et al.* (2016) menyatakan bahwa air sungai yang mengandung logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dapat diatasi menggunakan tanaman air seperti Genjer. Genjer mampu mengakumulasi Pb menjadi Pb^{2+} pada bagian akar, daun serta batang dan menjadi adsorben bagi logam berat (Febriani *et al.*, 2021). Tanaman Genjer juga dapat menurunkan kadar BOD pada industri pabrik kelapa sawit. Efisiensi penurunan BOD yang paling tinggi, yaitu sebesar 75,6% sedangkan efisiensi paling rendah yaitu 56,0% (Avlenda, 2009). Dalam penelitian lain menyebutkan Genjer dapat menurunkan kadar BOD dalam limbah dari industri karet dengan variasi jumlah tanaman Genjer sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 batang. Hasil tertinggi didapatkan pada perlakuan variasi dengan jumlah tanaman sebanyak 5 batang Genjer dengan persentase penurunan sebesar 29,05% (Thuraidah *et al.*, 2016). Oktoviana *et al.* (2015) juga menjelaskan bahwa tanaman Genjer mampu menyerap ion Pb (II) dengan konsentrasi 25 ppm. Efisiensi penyerapan tertinggi didapatkan pada pemaparan hari-12 sebesar 98,80%. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa biomassa daun Genjer dapat mengadsorpsi ion logam Cu dan menghasilkan penyerapan optimum sebesar 83,34 % yaitu pada pH 4, dan 91,54% dengan waktu kontak tertinggi 30 menit, serta 82,04% dengan massa adsorben yaitu 1 gram (Febriani *et al.*, 2021). Selain itu, tanaman Genjer juga dapat mengakumulasi logam berat seperti Pb, Cd, dan Hg. Tingginya toleransi tanaman Genjer terhadap logam berat dan kemampuan dalam mengakumulasi logam berat menjadikan Genjer sebagai agen fitoremediasi yang efektif dalam menangani lingkungan tercemar logam berat, salah satunya seperti limbah yang mengandung logam timbal.

2.2.1 Mekanisme Penyerapan Logam Timbal (Pb) oleh Genjer

Mekanisme penyerapan pada tumbuhan saat meremediasi logam berat adalah penyerapan pasif. Penyerapan pasif oleh tumbuhan terjadi melalui akar kemudian akan masuk ke dalam sel-sel tumbuhan. Menurut Hall (2002) pada penyerapan pasif, selain terjadi penyerapan akan juga terjadi akumulasi logam berat dengan cara pengikatan kation logam berat pada dinding sel. Logam akan dikelat sehingga membentuk fitokelatin, yakni peptida yang kaya akan asam amino sistein yang mengandung belerang. Atom belerang dalam sistein hampir dipastikan penting untuk mengikat logam tersebut. Fitokelatin akan bertemu dengan logam Pb dan membentuk ikatan disulfida membentuk senyawa kompleks. Pembentukan fitokelatin merupakan respons tumbuhan untuk beradaptasi terhadap keadaan lingkungan yang tercemar logam berat (Gekeler, 1989). Tingginya konsentrasi logam akan menyebabkan semakin banyaknya terbentuk fitokelatin sehingga tanaman mengalami stres terhadap logam berat.



Gambar 2.3 Reaksi fitokelatin tanaman dengan ion Pb^{2+} (Rodrigo *et al.*, 2013).

Logam timbal yang diserap oleh tanaman Genjer berbentuk ion Pb^{2+} kemudian tumbuhan akan membentuk senyawa kompleks protein fitokleatin (PCs). Logam berat akan membentuk senyawa kompleks dengan ligan lain di dalamnya sehingga logam berat dapat dibawa menuju ke seluruh bagian tubuh tanaman (Isa *et al.*, 2014). Pembentukan fitokelatin merupakan respon tanaman terhadap logam berat. Selain interaksi dengan senyawa fitokelatin, terjadi terdapat H_2CO_3 pada akar akan terionisasi menjadi HCO^- dan H^+ sehingga H^+ akan bertukar dengan Pb^{2+} . Kemudian ion logam diserap pada permukaan sel epidermis akar (Raza *et al.*, 2020).

2.3 Zeolit Alam sebagai Adsorben

Adsorpsi merupakan penyerapan suatu komponen dari satu fasa menuju fasa lain berupa zat padat karena adanya gaya tarik atom untuk menutupi pori permukaan zat padat tersebut (Webber, 1972). Padatan cenderung akan menarik menarik molekul lain dari fasa gas dan cair sehingga konsentrasi pada permukaan zat padat menjadi lebih besar. Pada proses adsorpsi interaksi terbentuk antara adsorben dan adsorbat hanya pada permukaan adsorbennya. Adsorbat adalah molekul yang terikat di permukaan sedangkan adsorben merupakan permukaan yang menyerap molekul dari adsorbat. Proses adsorpsi hanya melibatkan interaksi di permukaan saja sehingga semakin besar luas permukaan maka semakin banyak zat yang akan terserap (Fatmawati, 2006). Zeolit alam memiliki pori-pori yang cukup luas sehingga dapat berikatan dengan logam atau kristal zeolit. Pori tersebut akan terisi jika berada disekitar kation. Saat proses penyerapan akan terjadi difusi ion ke dalam ruang hampa kristal zeolit alam sehingga kation atau anion akan terjebak dan masuk ke dalam rongga tersebut. Adsorpsi yang terjadi karena adanya kontak antara molekul dengan permukaan padat.

Metode adsorpsi menjadi metode paling efektif dari beberapa metode pengendapan secara kimia dalam mengurangi kadar logam berat dalam limbah cair (Ningsih *et al.*, 2017). Hal ini karena prosesnya sederhana, ramah lingkungan, tidak menimbulkan efek samping, dan menghasilkan efektifitas dan efisiensi tinggi. Pada proses adsorpsi diperlukan adsorben untuk menyerap kontaminan dalam limbah yaitu karbon aktif, arang aktif, bentonite alam, zeolit, silikan, dan resin penukar ion (Naat *et al.*, 2021). Zeolit alam merupakan adsorben yang sering digunakan di bidang industri. Zeolit alam adalah material berpori yang berasal dari alam terbentuk dari zeolitisasi bahan vulkanik akibat perubahan alam (Selvina *et al.*, 2021). Zeolit alam memiliki sifat kimia dan fisika yaitu sifat inert, stabilitas tinggi, kemampuan mengikat logam, memiliki rongga yang memungkinkan terjadinya adsorpsi dan luas permukaan yang besar sehingga memungkinkan terjadinya proses katalitik. Komposisi kimia zeolit alam bergantung pada suhu, tekanan uap dan komposisi sekitar lingkungan asal zeolit alam. Komposisi kimia yang dikandung dalam zeolit alam antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , dan CuO (J. Cejka, 2005).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam dapat dimanfaatkan sebagai adsorben limbah logam berat seperti Pb, Hg, Zn, Ba, Mg, Cu, Cd, Sr, dan Ni. Penelitian yang dilakukan oleh Ngapa & Gago. (2019) tentang adsorpsi ion pb (II) oleh zeolit alam endo teraktivasi asam sebagai penyerap limbah logam berat menyebutkan bahwa efisiensi penyerapan maksimum zeolit alam terhadap ion logam Pb(II) sebesar 99.37%. Dalam penelitian tentang penggunaan zeolit alam sebagai adsorben pada fitoremediasi tanaman eceng gondok dan kombinasi adsorpsi zeolit, ijuk, dan karbon aktif dalam meremediasi limbah cair batik menunjukkan hasil bahwa dapat mengurangi kadar limbah logam krom dalam limbah batik cair (Susilo & Nugroho, 2020). Selanjutnya, Priambodo *et al.* (2019) juga menyebutkan dalam penelitiannya tentang pengolahan limbah industri batik menggunakan metode adsorpsi zeolit dan karbon aktif dengan variasi komposisi zeolit dan karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen removal COD tertinggi sebesar 47,75% pada variasi zeolit : karbon aktif (1:5) dan untuk persen removal TSS tertinggi sebesar 89,07% pada variasi zeolit : karbon aktif (1:1).

2.4 Destruksi

Destruksi adalah salah satu syarat sebelum menganalisis kandungan sampel menggunakan instrumen spektroskopi serapan atom (AAS). Sampel yang akan dianalisis harus berupa larutan (Asmorowati, *et al.*, 2020). Destruksi adalah suatu perlakuan memecah senyawa menjadi unsur-unsurnya sehingga dapat dianalisis atau perombakan senyawa dalam bentuk logam-logam organik dapat berubah menjadi logam-logam anorganik. Destruksi dibagi menjadi dua yaitu destruksi kering dan destruksi basah (Andriyaningrum, *et al.*, 2018). Metode destruksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah destruksi basah. Destruksi basah melibatkan asam kuat dalam mendegradasi sampel untuk meningkatkan kelarutan sehingga sampel mampu terdekomposisi. Penelitian oleh (Asmorowati, *et al.*, 2020) menunjukkan perbandingan metode destruksi basah dan destruksi kering terhadap analisis logam Pb yang ditentukan berdasarkan nilai % recovery. Nilai % recovery metode destruksi basah mencapai sebesar 99,00% dan metode destruksi kering sebesar 92,30%. Keuntungan dari destruksi basah adalah kandungan yang hilang pada sampel tidak terlalu banyak karena tidak perlu pemanasan suhu tinggi yang

dapat menghilangkan kandungan penting. Selain itu destruksi basah memerlukan waktu lebih singkat dengan perolehan hasil yang lebih baik (Hasmizal dan Bhernama, 2021). Faqihuddin dan Ubaydillah, (2021) menyebutkan keberhasilan proses destruksi ditandai dengan larutan jernih yang menunjukkan kelarutan sempurna larutan.

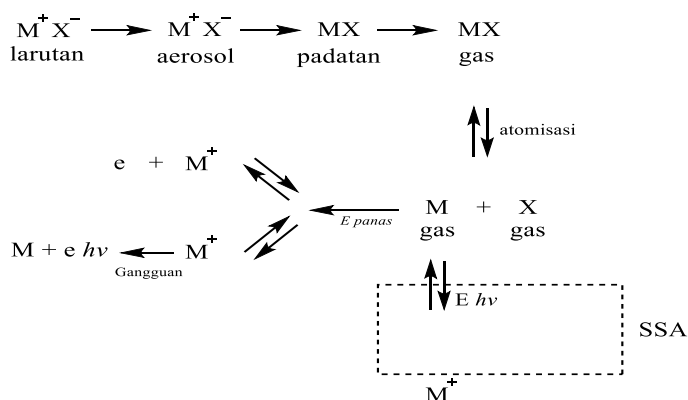
Proses destruksi basah tertutup dilakukan dengan *microwave digestion*. *Microwave digestion* memiliki tingkat *recovery* tinggi yang memanfaatkan energi radiasi elektromagnetik untuk menghasilkan panas sehingga energi radiasi tersebut akan diserap molekul sampel. Selanjutnya, terjadi pemanasan internal secara lokal yang dapat menyebabkan ledakan akibat penambahan asam. Asam akan memutus senyawa organik yang sebelumnya berikatan dengan logam tersebut (Hu dan Qi, 2014). Proses destruksi menggunakan *microwave digestion* berlangsung lebih cepat, singkat dan secara bertahap. Tahapan pertama yaitu selama 10 menit, suhu akan naik sampai 110°C dengan tekanan mencapai 0,3 MPa. Kemudian tahapan yang kedua yaitu selama 5 menit, dimana suhu akan naik lagi hingga mencapai 150°C dengan tekanan mencapai 0,7 MPa. Setelah itu tahapan yang ketiga yaitu suhu dan tekanan akan naik lagi hingga mencapai 180°C dengan tekanan 1,5 MPa. Setelah proses destruksi selesai, alat akan berhenti secara otomatis dan terjadi proses *cooling down* yaitu proses penurunan sampai pada suhu 100°C. Setelah suhu mencapai $\leq 60^\circ\text{C}$, sampel disaring dan dihasilkan larutan bening hasil destruksi.

Asam nitrat (HNO_3) adalah asam paling efektif yang digunakan pada destruksi basah karena dapat memecah sampel berupa senyawa organik menjadi senyawa yang mudah terurai dan tidak mudah menguap. Kemampuan asam nitrat dalam melepas logam dari sampel juga baik sehingga menjadikan asam nitrat sebagai agen pengoksidasi yang baik (Purnamisari, 2012). Selain asam nitrat (HNO_3), asam peroksida (H_2O_2) juga ditambahkan untuk memaksimalkan proses destruksi (Kristianingrum, 2012). Penambahan asam peroksida (H_2O_2) mampu meningkatkan daya larut asam nitrat (HNO_3) sehingga HNO_3 dapat mendekomposisi sampel secara maksimal (Twyman, 2005). Persamaan reaksi untuk logam timbal dapat larut dalam nitrat adalah :



2.5 Analisis Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Analisis Kadar Timbal (Pb) Menggunakan instrumen (SSA). Spektroskopi Serapan Atom (SSA) merupakan analisis kuantitatif yang didasarkan pada penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Teknik analisis pada spektroskopi serapan atom didasarkan pada penguraian molekul menjadi atom (atomisasi) dalam atomizer melalui penguapan. Proses atomisasi akan mengubah fasa gas bebas menjadi fasa netral. Proses atomisasi menggunakan atomisasi dalam nyala (flame) yaitu dengan membakar analit menggunakan gas pembakar agar memperoleh energi panas dan didapatkan analit bebas (Hidayat *et al.*, 2007 dalam Hasanah, 2020). Sebagian besar atom berada di ground state dan sisanya akan tereksitasi dan memancarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu dan kembali ke ground state (Purnamisari, 2012). Panjang gelombang energi yang diserap dapat oleh atom tergantung dari sifat atom tersebut. Logam timbal dapat menyerap energi pada panjang gelombang 283,3 nm. Saat menyerap energi, logam akan mengalami eksitasi pada keadaan dasar. Perpindahan elektron ini menyebabkan logam menjadi ion dan terbaca oleh instrument. Prinsip dasar dari spektroskopi serapan atom adalah adanya interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel berdasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap atom. Prinsip kerja SSA melibatkan proses penguapan dimana cahaya akan diserap oleh atom maka terjadi penguapan yang mengubah atom menjadi uap (Khopkar, 2010). Proses atomisasi atom logam digambarkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses atomisasi

Proses atomisasi dimulai dengan pencampuran asetilena dan oksida dalam nebulizer yang menciptakan campuran yang heterogen lalu mengalir menuju tempat pembuangan, lalu *flame* memecah analit dan menjadikannya atom. Teknik AAS nyala umumnya menggunakan udara/asetilena sebagai sumber nyala. Pelarut diuapkan dan chopper akan memecah sampel menjadi butir kabut kemudian membentuk aerosol. Setelah proses pengkabutan, campuran gas menuju burner untuk proses pengatoman. Ketika cahaya dari lampu katoda berongga melewati awan atom, atom menyerap sinar dari lampu, kemudian diukur dengan detector yang sebanding dengan kadar zat. Spektroskopi Serapan Atom mengacu pada hukum Lambert-Beer. Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom bebas, maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas serapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas tersebut. Timbal (Pb) dapat menyerap energi pada panjang gelombang 283,3 nm. Pada panjang gelombang tersebut, cahaya memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom yang menyerap cahaya (Khopkar, 2010). Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi yang didapatkan dari Hukum Lambert yang menyatakan bahwa: (Day dan Underwood, 2002):

1. Jika suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.
2. Jika intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Secara keseluruhan, instrument AAS memiliki 5 komponen dasar, yaitu: sumber cahaya sebagai *absorption cell* dimana atom dari sampel akan dihasilkan, monokromator untuk memilih cahaya sesuai panjang gelombang tertentu, detektor untuk mengukur intensitas cahaya, menguatkan sinyal dan menentukan sinar yang keluar dari monokromator dan display untuk menampilkan hasil pembacaan yang telah diproses oleh instrumen AAS (Irianti *et al.*, 2017). Pemilihan metode ini karena sederhana, cepat, mudah, sensitifitas tinggi, kinerja yang baik, gangguan yang relatif sedikit, cuplikan sampel yang dibutuhkan sedikit serta energi yang dibutuhkan sangat kecil. Namun metode ini memiliki kekurangan seperti unsur dan batas deteksi yang masih terbatas (Wilschefski dan Baxter, 2019).

2.6 Fitoremediasi Genjer dan Adsorpsi Zeolit Alam terhadap Logam Pb dalam Perspektif Islam

Remediasi menggunakan tanaman hijau banyak digunakan untuk membersihkan lingkungan tercemar salah satunya menggunakan tanaman air seperti Genjer yang juga memiliki banyak manfaat seperti farmakologi dan antioksidan (Jamila *et al.*, 2021). Genjer juga berperan dalam membersihkan lingkungan dengan cara menyerap polutan dari lingkungan tersebut (Haryati *et al.*, 2012). Tanaman Genjer memiliki potensi sebagai agen remediasi logam timbal (Pb) karena memiliki daya akumulasi untuk menyerap ion Pb (II) dan mampu mengakumulasikannya pada bagian akar, batang dan daun tanaman Genjer (Oktoviana *et al.*, 2015). Berkenaan dengan hal itu, penciptaan Allah terhadap tanaman Genjer pasti memiliki berbagai kegunaan. Dalam QS. Asy-Syu'ara' ayat 7 Allah swt berfirman:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ (الشعراء : ٧)

Artinya: *Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik? (QS : Asy-Syu'ara' : 7).*

Menurut tafsir Al Qhurtubi, 3 kata kunci dalam ayat ini yaitu kata yarou artinya memperhatikan, zaujun artinya tumbuh-tumbuhan dan kariim artinya baik dan mulia. Dalam ayat ini manusia diperintahkan untuk memperhatikan tanaman yang baik yang ditumbuhkan Allah. Tumbuh-tumbuhan yang baik tersebut diartikan sebagai tumbuhan dengan banyak manfaat (Shihab, 2002). Pesan yang dapat dipahami dari firman Allah ini adalah penciptaan segala sesuatu selalu diiringi kebaikan serta manfaat. Salah satunya manfaat penciptaan tanaman Genjer yang dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan seperti membersihkan lingkungan sebagai agen fitoremediasi terhadap limbah logam Pb.

Penelitian ini juga menggunakan zeolit alam untuk dikombinasikan dengan Genjer dengan tujuan untuk meningkatkan penyerapan logam timbal. Zeolit alam berperan sebagai adsorben dalam proses penyerapan limbah logam berat. Zeolit alam merupakan mineral atau bebatuan yang berasal dari pegunungan. Hal ini juga Allah jelaskan dalam al-Quran bahwa bebatuan dari pegunungan memiliki fungsi tersendiri seperti halnya zeolit alam berperan sebagai adsorben.

Allah SWT. berfirman dalam QS. Faathir ayat 27 yang berbunyi:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا

وَعَرَابٍ سُوِّدٌ (فاطر : ٢٧)

Artinya: *Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu Kami hasilkan buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat (QS: Faathir : 27).*

Dalam ayat ini, Allah menggambarkan bentukan gunung-gunung yang terlihat seperti bermacam warna, terdapat warna putih, merah, dan hitam. Goresan warna pada batuan paling sering terjadi pada jenis batuan sedimen. Setiap lapisan batuan sedimen dapat memiliki warna yang berbeda karena tersusun dari material yang berbeda. Perbedaan warna ini terutama dimanifestasikan sebagai perbedaan mineralogi. Semua itu untuk kemudahan dan pemanfaatan manusia (Shihab, 2002). Menurut tafsir Ibnu Katsir, lafaz al-judud dalam ayat tersebut artinya beraneka warna. Keberagaman warna tersebut dimaksudkan karena adanya perbedaan materi atau bebatuan yang dikandung dalam gunung-gunung tersebut. Salah satu mineralogi atau hasil bebatuan dari penciptaan gunung yang dapat bermanfaat bagi manusia yaitu zeolit alam yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben terhadap logam berat Pb (Ngapa dan Gago, 2019). Berdasarkan uraian kedua ayat tersebut maka jauh sebelumnya Allah sudah memberi petunjuk bagi manusia untuk memanfaatkan seluruh ciptaan-Nya yang dapat digunakan sebagaumana mestinya. Seperti halnya memanfaatkan tanaman Genjer dan zeolit alam sebagai media penyerap cemaran limbah logam di perairan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-September 2023 di Laboratorium Kimia Organik dan Laboratorium Layanan dan Instrumen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu wadah plastik, wadah kaca, aerator, oven, mortar, alu, neraca analitik, kertas saring whatman, seperangkat alat gelas, gelas ukur, labu ukur, erlenmeyer, botol kaca, pipet ukur, *beaker glass*, pH meter, aluminium foil, spatula, bola hisap, pengaduk magnet, cawan porselin, ayakan, *hot plate*, *microwave digestion* dan seperangkat instrumentasi spektrofotometri serapan atom (SSA) merk varian spectra AA 240 dengan lampu katoda timbal (Pb) (Hasanah, 2020).

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tanaman Genjer, zeolit alam, sampel air, nutrisi tanaman, larutan standar Pb dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ unhidrat, HNO_3 p.a, H_2O_2 p.a, HCl, aquabides, dan aquades (Hasanah, 2020).

3.3 Rancangan Penelitian

Tanaman Genjer diaklimatisasi dalam air tanpa media tanam selama 7 hari (Kamarudzaman & Ismail, 2011) dan diganti airnya setiap 2 hari. Selanjutnya zeolit alam dipreparasi dengan cara dicuci menggunakan aquades lalu direndam sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Selanjutnya diaktivasi

menggunakan asam klorida (HCl) 3 M dengan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam, lalu zeolit alam disaring dan dibilas dengan aquades hingga pH netral. Selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 4 jam (Ngapa & Gago, 2019). Kemudian dibuatkan limbah simulasi $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 5 m/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L. Selanjutnya proses fitoremediasi Genjer yang dipaparkan dengan limbah simulasi $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ selama 6 hari. Selanjutnya proses kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam dengan dipaparkan kombinasi Genjer dan zeolit alam dengan larutan limbah simulasi $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ menggunakan sistem *batch* dan kontinyu. Pemaparan dengan sistem *batch* dilakukan dengan memaparkan Genjer dan zeolit alam secara bersamaan selama 6 hari sedangkan sistem kontinyu dilakukan dengan memaparkan Genjer terlebih dahulu dengan larutan simulasi selama 6 hari kemudian larutan sisanya dialiri untuk diadsorpsi oleh zeolit alam selama 6 hari juga. Setelah itu, sampel Genjer dan larutan sisa pemaparan didestruksi menggunakan metode destruksi basah tertutup dan dianalisis kadar Pb pada Genjer dan limbah menggunakan instrumen spektroskopi serapan atom metode kurva standar. Setiap perlakuan variasi diulangi tiga kali pengulangan. Setelah data didapatkan, kemudian data dianalisis secara statistika dengan *One Way ANOVA* metode RAK.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Preparasi sampel tanaman Genjer, zeolit alam dan air.
2. Aklimatisasi sampel tanaman Genjer.
3. Aktivasi zeolit menggunakan HCl.
4. Analisis kadar logam timbal (Pb) pada sampel Genjer dan air setelah aklimatisasi
5. Preparasi larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ anhidrat.
6. Proses fitoremediasi Genjer terhadap logam Pb.
7. Pemaparan kombinasi Genjer dan zeolit dengan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. secara sistem *batch* dan sistem kontinyu.
8. Destruksi sampel Genjer.

9. Analisis kadar logam timbal (Pb) pada tanaman Genjer dan air.
10. Analisis data.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tanaman Genjer, Zeolit Alam dan Air

Sampel Genjer dan air diambil dari persawahan Pagelaran, Kabupaten Malang Jawa Timur. Tanaman Genjer dengan tinggi ± 30 cm diambil sebanyak ± 5 kg lalu dicuci untuk menghilangkan pengotor yang dapat mengganggu pengamatan. Selanjutnya, ditambahkan air ke wadah agar tanaman tetap segar saat dibawa dari lokasi sampel menuju laboratorium. Sedangkan zeolit alam disiapkan sebanyak ± 2 kg dengan ukuran 2 mesh (Maulidya, 2019) lalu dicuci menggunakan air. Sampel air diambil sebanyak ± 500 mL yang ditempatkan dalam botol kaca lalu ditambahkan dengan HNO₃ 65% hingga mencapai hingga pH 2 (Hasanah, 2020).

3.5.2 Aklimatisasi Sampel

Aklimatisasi tanaman Genjer dilakukan dalam wadah plastik yang sudah terisi air sebanyak ± 10 liter dan dibiarkan selama 7 hari dan dilakukan penggantian air setiap 2 hari sekali. Aklimatisasi tanaman Genjer diletakkan di ruangan terbuka yang terkena sinar matahari. Setelah diaklimatisasi, tanaman Genjer dipilih berdasarkan kriteria masing-masing yang relatif seragam untuk proses remediasi (Kamarudzaman & Ismail, 2011).

3.5.3 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam

Preparasi zeolit alam diawali mencuci zeolit alam ukuran ± 2 mesh. Selanjutnya direndam dengan aquades selama 24 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Lalu dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 110°C. Kemudian diaktivasi dengan menambahkan HCl 3M dengan perbandingan massa dan volume larutan sebanyak 1:2 dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Setelah itu, disaring dan dibilas dengan aquades hingga pH netral lalu dikeringkan kembali pada suhu 110°C selama 4 jam. (Ngapa & Gago, 2019).

3.5.4 Preparasi Larutan Logam Timbal (Pb)

Larutan logam timbal sebagai simulasi limbah dibuat dengan menimbang padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 1,59 g dan dilarutkan dalam 1000 mL aquabides. Kemudian dibuat larutan limbah artifisial sebanyak 1500 mL dengan konsentrasi 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L.

3.5.5 Proses Fitoremediasi Genjer terhadap Logam Berat Pb

Setelah diaklimatisasi, tanaman Genjer sebanyak 100 g dimasukkan ke dalam wadah kaca sebanyak tiga buah. Satu wadah sebagai kontrol yang terdiri dari Genjer dan aquabides. Selanjutnya tiga wadah lainnya terdiri dari tanaman Genjer beserta larutan artifisial dengan konsentrasi masing-masing 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L. Sampel dipapar dan diamati selama 6 hari pemaparan. Setiap perlakuan variasi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali (Hasanah, 2020). Visualisasi penelitian disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Visualisasi pemaparan sampel

Pemaparan		
G5i	G10i	G20i
G5ii	G10ii	G20ii
G5iii	G10iii	G20iii
Keterangan: G : Genjer		
5, 10, 20 : konsentrasi Pb (mg/L)		
i, ii, iii : pengulangan		

3.5.6 Pemaparan Kombinasi Genjer dan Zeolit dengan Logam Berat Pb

Genjer dan zeolit alam yang sudah dipreparasi dipaparkan secara kombinasi dengan dua sistem yaitu secara sistem batch dan kontinyu dengan larutan artifisial $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L. Komposisi kombinasi Genjer dan zeolit alam adalah 100 g : 50 g (Warisaura et al., 2019). Sampel dimasukkan kedalam empat wadah, satu wadah sebagai kontrol dan tiga lainnya terdiri dari larutan artifisial dengan variasi konsentrasi limbah artifisial. Sistem batch dilakukan dengan memaparkan Genjer dan zeolit alam dengan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L selama 6 hari secara

bersamaan dalam satu wadah secara langsung. Sedangkan pemaparan secara kontinyu dilakukan dengan memaparkan Genjer dengan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 5 mg/L, 10 mg/L, dan 20 mg/L terlebih dahulu selama 6 hari, kemudian sisa larutan simulasi dari pemaparan Genjer dipaparkan kembali dengan zeolit alam untuk proses adsorpsi. Setiap perlakuan variasi diulangi tiga kali pengulangan.

Tabel 3.2 Visualisasi pemaparan sampel secara kombinasi

Pemaparan		
Ba5i	Ba10i	Ba20i
Ba5ii	Ba10ii	Ba20ii
Ba5iii	Ba10iii	Ba20iii
Ko5i	Ko10i	Ko20i
Ko5ii	Ko10ii	Ko20ii
Ko5iii	Ko10iii	Ko20iii
Keterangan: Ba : sistem <i>batch</i>		
Ko : sistem kontinyu		
5, 10, 20 : konsentrasi Pb (mg/L)		
i, ii, iii : pengulangan		

3.5.7 Destruksi Sampel Genjer

Sampel Genjer setelah dipaparkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 4 jam. Setelah itu, digerus sampai menjadi serbuk halus dan ditimbang sebanyak 0,25 g hingga konstan untuk sampel cuplikan destruksi. Selanjutnya didestruksi menggunakan destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion*. Sampel Genjer dimasukkan ke dalam vessel dan ditambahkan reagen berupa 7 mL HNO_3 + 1 mL H_2O_2 30% kemudian vessel ditutup. Diatur suhu dan tekanan *microwave digestion* sesuai dengan metode lalu diklik tombol mulai. Tunggu hingga proses destruksi selesai dan biarkan suhu menurun sampai 60°C . Sampel dikeluarkan dari *microwave digestion* selanjutnya hasil destruksi disaring menggunakan kertas saring dan diperoleh larutan hasil destruksi menjadi bening. Sedangkan filtrat sisa larutan limbah artifisial diambil sebanyak 50 mL didestruksi dengan menambahkan HNO_3 sebanyak 10 mL dan dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 100°C sampai larutan menjadi bening atau volumenya tersisa setengahnya (Hasanah, 2020).

3.5.8 Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) pada menggunakan Instrumentasi SSA

Analisis kadar logam timbal (Pb) menggunakan spektroskopi serapan atom dengan metode kurva standar. Sebelum dianalisis dibuatkan larutan baku standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 3, mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L, dan 25 mg/L dalam labu ukur 20 mL dan ditandabatkan dengan aquabides. Pembuatan larutan disajikan pada Lampiran 3.1. Setelah itu tentukan nilai absorbansinya melalui instrument yang didapat dari instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) sehingga didapatkan kurva standar timbal (Pb) hubungan antara konsentrasi logam Pb dan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam Pb dapat diketahui menggunakan persamaan regresi linier. Fungsi dari kurva kalibrasi tersebut adalah untuk menentukan konsentrasi suatu zat dalam suatu sampel yang tidak diketahui dengan membandingkan yang tidak diketahui kedalam seperangkat sampel standar dari konsentrasi yang telah diketahui. Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang dilengkapi dengan lampu katoda timbal (Pb) merk varian spektra AA 240 diatur panjang gelombangnya adalah 283,3 nm sesuai dengan panjang gelombang sinar yang dapat diserap atom Pb. Diatur kondisi optimum instrumen SSA untuk timbal dengan kondisi laju aliran asetilen sebesar 2,0 L/menit dan laju aliran udara sebesar 10,0 L/menit., lebar celah 0,7 Nm dan kuat arus 5 Ma (Farobi, 2019).

3.6 Analisis Data

3.6.1 Pembuatan Kurva Standar

Data yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah konsentrasi logam Pb yang didapat melalui hubungan antara konsentrasi dan absorbansi. Sehingga nilai yang didapat adalah Slope dan Intersep. Kemudian data tersebut dimasukkan kedalam persamaan regresi linier menggunakan Hukum Lambert-Beer (Day dan Underwood, 2002). Sehingga konsentrasi dalam sampel diperoleh dari persamaan regresi kurva standar. Persamaan regresi linier dan kurva standar yang didapatkan dilampirkan pada Lampiran 3.3. Persamaan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$Y = ax + b \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan:

X : Konsentrasi Sampel.

Y : Absorbansi sampel.

b : Slope.

a : Intersep.

3.6.2 Penentuan Kadar Logam Timbal dalam Tanaman Genjer

Kadar logam timbal (Pb) pada Genjer dalam bentuk biomassa mengandung kadar logam Pb berbeda-beda. Untuk menentukan konsentrasi logam Pb dalam bentuk biomassa dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2. Hasil dari perhitungan konsentrasi logam Pb dilampirkan pada Lampiran 3.4 dan 3.6.

$$\text{Kadar logam Pb (mg/kg)} = \frac{b \times V \times fp}{m} \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan:

b : konsentrasi logam Pb dalam sampel dari instrumen SSA (mg/L).

v : volume larutan destruksi (L).

m : massa biomassa yang didestruksi (g).

fp : faktor pengenceran

3.6.3 Penentuan Nilai BCF Tanaman Genjer

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan Genjer dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai Bioconcentration factor (BCF) dengan Persamaan 3.3. Hasil dari perhitungan nilai BCF akan dilampirkan pada Lampiran 3.5.

$$\text{BCF} = \frac{C_o}{C_w} \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan:

BCF : faktor biokonsentrasi.

C_o : konsentrasi logam berat pada tumbuhan.

C_w : konsentrasi awal logam berat pada air.

3.6.4 Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb

Persentase logam timbal (Pb) yang terserap oleh sampel atau persentase penurunan. Hasil dari perhitungan persentase penurunan konsentrasi logam Pb akan dilampirkan pada Lampiran 3.7. Persentase penurunan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\% \text{ Pb Penurunan} = \frac{[\text{Pb awal}] - [\text{Pb sisa}]}{[\text{Pb awal}]} \times 100\% \dots\dots\dots 3.4$$

Keterangan:

[Pb awal] : konsentrasi awal logam Pb dalam dalam air.

[Pb tersisa] : konsentrasi tersisa logam Pb dalam air.

3.6.5 Analisis Statistik

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *one way* ANOVA metode rancangan acak kelompok (RAK) menggunakan aplikasi IBM SPSS statistik dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan logam. Analisis yang dilakukan yaitu terhadap variabel bebas dan satu variabel terikat. Variabel bebas atau independen pada penelitian ini yaitu variasi konsentrasi yang terdiri dari 3 variasi. Sedangkan variabel terikat atau dependent yaitu Pb terserap. Analisis kemudian dilanjutkan dengan beda Nyata Terkecil BNT.

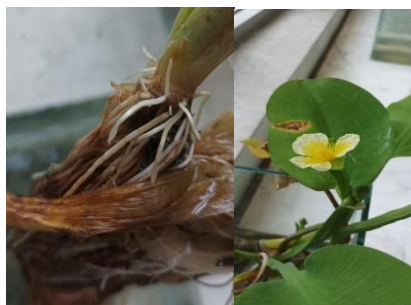
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel

4.1.1 Aklimatisasi Tanaman Genjer

Metode pengambilan sampel Genjer menggunakan metode *Convenience Sampling* berdasarkan *conveniently/readily available* atau sampel yang tersedia di lapangan (Rawung, 2020). Genjer diaklimatisasi selama 7 hari agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan baru dan diganti air setiap 2 hari untuk mencegah pembusukan pada tanaman Genjer. Ditambahkan juga aerator untuk mensuplai oksigen tambahan selama proses aklimatisasi dan diletakkan di ruangan terbuka dengan pencahayaan dari sinar matahari yang cukup agar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Setelah aklimatisasi didapatkan tunas dan bunga baru yang tumbuh. Hal ini menandakan aklimatisasi tanaman berhasil dan siap digunakan untuk tahap penentu pengujian selanjutnya (Riyadi *et al.*, 2022).



Gambar 4.1 Genjer setelah aklimatisasi

Uji kandungan awal pada Genjer dianalisis tiap bagian tanamannya yaitu akar, batang, dan daun setelah aklimatisasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam Pb bawaan dalam sampel tanaman tersebut. Konsentrasi logam Pb dalam sampel Genjer yang didapatkan setelah aklimatisasi masing-masing pada bagian akar sebesar 0,70 mg/L, batang sebesar 0,58 mg/L dan daun sebesar 0,23 mg/L. Baku mutu BPOM RI No.23 Tahun 2017 tentang batas maksimum logam Pb yang diperbolehkan dalam buah dan sayuran yaitu sebesar 0,2 mg/L. Sampel Genjer setiap bagian tanaman sebelum perlakuan sudah mengandung logam Pb dengan urutan konsentrasi yaitu akar > batang > daun.

Kandungan bawaan dalam tanaman dipicu oleh aktivitas masyarakat seperti penggunaan pupuk pestisida di sekitar persawahan. Selanjutnya Air sawah dan air setelah aklimatisasai juga ditentukan konsentrasi logam Pb dan didapatkan masing-masing sebesar 0,50 mg/L dan 0,41 mg/L. Selanjutnya ditentukan kadar logam Pb dalam tiap bagian tanaman Genjer yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konsentrasi Pb sebelum pemaparan

Sampel	Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)
Akar	22,40
Batang	18,56
Daun	7,36

Keterangan: BK: Berat Kering

4.1.2 Aktivasi Zeolit Alam

Aktivasi zeolit alam dilakukan secara kimia dengan penambahan larutan asam berupa HCl 3M. Penambahan asam bertujuan untuk memurnikan zeolit alam dari ion pengganggu berupa oksida logam yang dapat menutupi pori-pori zeolit serta menata ulang struktur zeolit akibat pengotor yang hilang. Aktivasi zeolit dengan HCl pada konsentrasi 0,1M hingga 11M menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit. Sebelum diaktivasi warna zeolit alam putih keruh keabu-abuan namun setelah diaktivasi warna zeolit alam berubah menjadi kehijauan akibat penambahan HCl yang menandakan bahwa HCl telah mengikat pengotor pada zeolit alam (Irvantino *et al.*, 2013). Setelah diaktivasi, zeolit alam dipanaskan yang bertujuan untuk menghilangkan uap air yang terjerap di dalam zeolit alam. Terlepasnya uap air akan menyebabkan terbentuknya ruang kosong sehingga dsorpsinya meningkat (Ngapa & Gago, 2019).



Gambar 4.2 (a) Sebelum aktivasi



(b) Setelah aktivasi

4.2 Penentuan Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Genjer (*Limnocharis flava*)

Secara Fitoremediasi

4.2.1 Penentuan Kadar Logam Pb dalam Biomassa Genjer

Tiap bagian tanaman Genjer memiliki kemampuan akumulasi logam Pb yang berbeda-beda. Menurut Febriani *et al.*, (2021), bagian akar tanaman Genjer mengakumulasi logam Pb lebih banyak dibandingkan bagian batang dan daun. Kemampuan akumulasi bagian tanaman Genjer terhadap logam Pb adalah akar > batang > daun. Berdasarkan penelitian sebelumnya Lestari *et al.*, (2017) Genjer dapat mengakumulasi kadar logam Pb yaitu 521,64 mg/Kg BK pada hari ke-6 dengan konsentrasi awal 25 ppm. Hasil konsentrasi logam Pb dalam tiap biomassa Genjer hasil penelitian yang telah dilakukan disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rata-rata konsentrasi logam Pb dalam biomassa Genjer

[Pb] awal (mg/L)	Akar		Batang		Daun	
	[Pb] (mg/L)*	[Pb] (mg/Kg BK)**	[Pb] (mg/L)	[Pb] (mg/Kg BK)	[Pb] (mg/L)	[Pb] (mg/Kg BK)
5	1,9	608	0,32	102,4	0,16	51,2
10	5,26	1657,6	0,36	115,2	0,14	43,2
20	10,5	3348,8	0,48	153,6	0,14	43,2

Keterangan: BK: Berat Kering

* Konsentrasi logam Pb pada instrument AAS

** Konsentrasi logam Pb hasil konversi Persamaan 3.2

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Lampiran 3.4 bahwa akumulasi terendah terdapat pada bagian daun. Penyerapan tertinggi oleh daun terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L yaitu sebesar 51,2 mg/Kg BK yang artinya genjer dapat menyerap logam Pb dalam air sebanyak 0,16 mg/L. Penyerapan terendah terdapat pada variasi konsentrasi 10 mg/L dan 20 mg/L yaitu sebesar 43,2 mg/Kg BK. Pada variasi konsentrasi tersebut daun dapat menyerap logam Pb dalam air sebanyak 0,14 mg/L. Penyerapan pada bagian daun tidak terjadi secara maksimal yang disebabkan oleh faktor eksternal seperti lingkungan. Hal ini disebabkan oleh terganggunya aktivitas tanaman Genjer dalam menyerap logam Pb. Selain itu kesehatan tanaman juga berpengaruh terhadap penyerapan logam. Kerusakan pada tanaman seperti nekrosis dan klorosis dapat menyebabkan batang dan daun tersebut menguning bahkan mati sehingga tidak menyerap logam secara keseluruhan (Baroroh *et al.*,

2018). Selain itu kerusakan fisik pada tanaman Genjer setelah aklimatisasi akibat perbedaan lingkungan dengan habitat aslinya. Sehingga saat proses remediasi berlangsung, tanaman tidak dapat menyerap logam dengan baik. Penyerapan pada konsentrasi 20 mg/L seharusnya lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 5 mg/L.

Selanjutnya berdasarkan Tabel 4.2 dan Lampiran 3.4 akumulasi tertinggi terdapat bagian pada akar. Febriani *et al.*, (2021) menyatakan bahwa Genjer mampu menyerap logam Pb pada bagian akar, batang maupun daun dengan penyerapan paling tinggi terdapat di bagian akar. Penyerapan tertinggi oleh akar terdapat pada variasi konsentrasi 20 mg/L dengan konsentrasi logam Pb terserap sebesar 3.348,8 mg/kg BK. Artinya bagian akar Genjer mampu mengakumulasi logam Pb dalam air sekitar 10,5 mg/L dari total konsentrasi awal. Akumulasi terendah terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L dengan konsentrasi pada akar sebesar 608 mg/kg BK. Yang artinya konsentrasi logam Pb dalam air yang terserap sebanyak 1,9 mg/L. Besaran konsentrasi logam Pb yang diserap oleh akar meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal limbah. Hal ini sesuai dengan penelitian Amalia *et al.*, (2023) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam berat dalam air maka akumulasi logam berat pada tanaman akan semakin besar. Tingginya konsentrasi Pb pada akar disebabkan karena akar merupakan jalan utama proses masuknya Pb ke jaringan lain sehingga mampu menyerap dan mengakumulasi logam lebih banyak dibandingkan bagian lainnya. Selain itu, akar juga berinteraksi secara langsung dengan media yang tercemar seperti logam Pb.

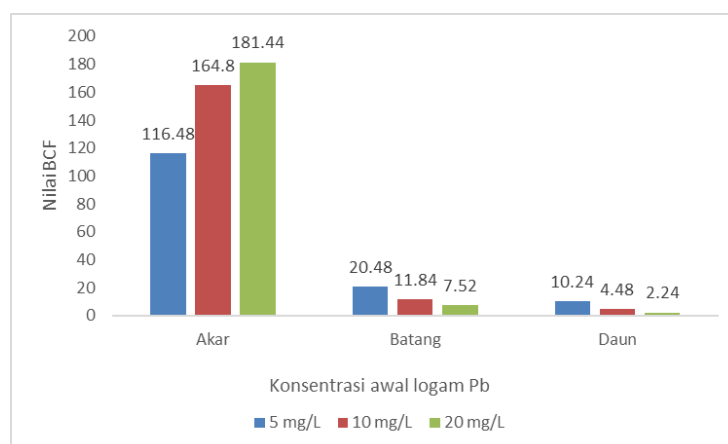
Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan fitoremediasi yaitu kemampuan daya akumulasi jenis tanaman untuk jenis polutan, kesehatan tanaman, kecocokan tanaman dengan logam, sifat fisiologi tanaman, jumlah zat kimia berbahaya, pH limbah, waktu pemaparan serta penggunaan konsentrasi limbah yang tepat. (Estuningsi *et al.*, 2013). Tanaman Genjer dapat dikategorikan sebagai tanaman hiperakumulator logam timbal karena dapat mengakumulasi logam sebesar 1% dari berat keringnya dengan konsentrasi lebih dari 1000 mg/kg BK. Tanaman hiperkumulator harus mampu mengakumulasi logam berat paling sedikit sebesar 280 mg/Kg BK. (Baker dan Brooks, 1989).

Akumulasi logam berat oleh tumbuhan melalui penyerapan oleh akar lewat pembentukan zat kelat berupa fitokelatin. Molekul tersebut diproduksi oleh tanaman pada akarnya yang dapat mengkelat logam berat sehingga tanaman dapat meningkatkan serapannya. Molekul yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui transport aktif selanjutnya translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem dan terakhir lokalisasi logam pada bagian sel tertentu seperti batang dan daun namun tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Welhelmus Djo *et al.*, 2017). Pada saat proses akumulasi pada akar berlangsung, Genjer akan membentuk senyawa fitokelatin ($(\gamma\text{-GluCys})_n\text{-Gly}$) akibat interaksi dengan logam berat sebagai respon tanaman yang mengalami stress metal. Fitokelatin disintesis jika terpapar timbal (Pb) membentuk fitokelatin glutathione. Fitokelatin kemudian akan membentuk ikatan fitokelatin-Pb berupa ikatan disulfida dan ikatan yang terbentuk akan diteruskan ke bagian vakuola tanaman. Pengikatan logam berat ini dapat terjadi karena protein memiliki gugus sulfhidril (-SH) dan melalui proses enzimatik akan terakumulasi di vakuola. Gugus sulfhidril (-SH) ini memudahkan dalam pengikatan ion logam yang masuk ke dalam tubuh. Fitokelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein bila bertemu dengan logam berat dan membentuk senyawa kompleks. Sehingga logam berat akan terbawa menuju jaringan tumbuhan yang lain (Amalia *et al.*, 2023). Fitokelatin dibentuk di dalam inti yang kemudian melewati endoplasma (RE), Aparatus golgi, Vasikula sekretori untuk sampai permukaan sel (Kratena *et al.*, 2021).

4.2.2 Penentuan Biokonsentrasi Faktor (BCF)

Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam berat dapat diukur dengan parameter biokonsentrasi faktor (BCF). Biokonsentrasi merupakan proses penyerapan zat kimia oleh organisme akuatik dari lingkungan sekitar melalui sistem pernapasan dan sel permukaan kulit. Secara matematis, nilai BCF didapatkan melalui persamaan perbandingan konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia dalam larutan saat keadaan stabil (Arnot, 2006). Gambar 4.3 merupakan hasil penentuan BCF akar, batang, dan daun Genjer. Setiap bagian tanaman Genjer memiliki nilai BCFnya masing-masing, sehingga dapat

diketahui bagian mana yang memiliki kemampuan lebih baik dalam mengakumulasi logam. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai BCF tertinggi terdapat pada bagian akar pada variasi konsentrasi logam Pb sebesar 20 mg/L. Hal tersebut dikarenakan adanya kontak langsung antara akar tanaman dengan limbah logam. Nilai BCF tertinggi terdapat pada bagian akar. Nilai BCF pada bagian akar Genjer cenderung semakin meningkat dari konsentrasi 5 mg/L ke konsentrasi 20 mg/L. Nilai BCF akar tertinggi diperoleh pada variasi konsentrasi 20 mg/L yaitu sebesar 181,44 dan terendah pada variasi konsentrasi 5 mg/L sebesar 116,48. Luas permukaan berpengaruh terhadap banyaknya Pb yang diakumulasi oleh bagian tanaman Genjer. Nilai BCF pada batang dan daun cenderung menurun yang disebabkan oleh aktivitas akumulasi yang tidak merata saat proses remediasi.



Gambar 4.3 Nilai BCF pada akar, batang, dan daun

Nilai BCF sebagai parameter fitoremediasi menunjukkan bahwa apakah tanaman merupakan termasuk fitoremediator. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nilai BCF pada tiap bagian tanaman yaitu BCF >1 sehingga tanaman Genjer merupakan akumulator dan fitoremediator terhadap logam Pb. Hal ini sesuai dengan penelitian tentang efektifitas *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediator logam tembaga yang menyatakan bahwa nilai BCF diperoleh pada tanaman *Limnocharis flava* yakni BCF >1 sehingga tanaman tersebut merupakan akumulator yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi (Amalia, *et al.*, 2023).

4.2.3 Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb dalam Limbah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan Genjer dalam meremediasi atau menurunkan kadar logam Pb dalam limbah artifisial dengan variasi konsentrasi 5 mg/L, 10, mg/L, dan 20 mg/L selama 6 hari. Selain itu juga sebagai pembanding di tahapan penelitian berikutnya. Nilai persen teremediasi ditentukan dengan menghitung perbandingan konsentrasi teremediasi dengan konsentrasi awal logam. Perhitungan penurunan konsentrasi logam Pb dalam air dihitung menggunakan Persamaan 3.4. Persentase logam Pb yang diremediasi oleh tanaman Genjer dengan berbagai variasi konsentrasi disajikan pada Tabel 4.3.

Konsentrasi awal Pb (mg/L)	[Pb] Tersisa (mg/L)	[Pb] Terserap (mg/L)	Penurunan [Pb] (%)
5	2,51	2,9	50,1
10	3,22	6,78	67,8
20	8,61	11,39	57,1

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Lampiran 3.7 bahwa penyerapan tertinggi terjadi pada variasi konsentrasi 10 mg/L dengan persentase penurunan logam Pb sebesar 67,8%. Artinya Genjer dapat menyerap logam Pb dalam air sekitar 6,78 mg/L. Penyerapan terendah terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L dengan persentase penurunan hanya 50,1%. Artinya logam Pb dalam air terserap oleh Genjer hanya sekitar 2,51 mg/L dari total konsentrasi awal. Persentase penurunan logam Pb mengalami kenaikan pada konsentrasi Pb sebesar 10 mg/L dari konsentrasi 5 mg/L namun menurun pada variasi konsentrasi 20 mg/L. Persentase penyerapan variasi konsentrasi 5 mg/L dan 20 mg/L terhadap logam Pb mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Lestari *et al.*, 2017) tentang potensi Genjer sebagai agen fitoremediasi logam Pb dengan kadar limbah artifisial 25 ppm, efisiensi penyerapan terhadap logam Pb sebesar 90,31% yang dipaparkan selama 6 hari. Namun hasil yang didapatkan dari penelitian ini bahwa penyerapan tertinggi hanya mencapai 67,8%. Faktor utama adalah kerusakan setiap bagian tanaman seperti daun dan batang yang menguning dan membusuk serta akar yang terlepas dari batang tanaman sehingga dapat mengganggu proses penyerapan dan tidak berjalan secara maksimal (Rijal *et al.*, 2016). Kerusakan tanaman

diakibatkan oleh keadaan tanaman yang tidak cocok dengan lingkungan baru pada proses penyerapan. Selain itu, hal ini disebabkan oleh keadaan jenuh tanaman Genjer sehingga tanaman melepas kembali logam Pb yang telah diserap.

4.3 Penentuan Penurunan Kadar Logam Pb Terserap oleh Kombinasi Remediasi Genjer dan Adsorpsi Zeolit Alam

Pemaparan kombinasi Genjer dan zeolit alam dilakukan secara sistem *batch* dan kontinyu. Perlakuan dengan sistem *batch* dilakukan dengan memaparkan Genjer dan zeolit alam secara bersamaan dalam satu wadah yang sama dengan limbah logam lalu dibiarkan selama 6 hari untuk proses adsorpsi. Sistem *batch* pada dasarnya memiliki pola kerja tergenang dengan asumsi selama waktu genang tersebut, limbah akan diserap oleh tanaman dan adsorben. Sedangkan pelaksanaan sistem kontinyu dilakukan dengan memaparkan tanaman Genjer terlebih dahulu dengan larutan artifisial lalu dibiarkan selama 6 hari untuk proses remediasi. Setelah hari ke-6 tanaman Genjer diangkat dari wadah pemaparan dan larutan sisa pemaparan dipaparkan dengan zeolit alam yang sudah dipreparasi untuk proses adsorpsi. Perlakuan ini dibiarkan dengan mendiamkan zeolit alam dalam larutan limbah selama 6 hari. Perlakuan sistem kontinyu tidak memperhatikan jumlah volume total saat proses adsorpsi berlangsung. Selanjutnya bisa ditentukan nilai penurunan logam Pb oleh kombinasi Genjer dan zeolit alam.

4.3.1 Penentuan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dalam Genjer

Penentuan konsentrasi logam Pb dalam Genjer diukur dengan menentukan konsentrasi terserap oleh tanaman selama 6 hari. Penelitian ini juga membandingkan logam Pb yang terserap oleh tanaman Genjer secara sistem *batch* dan kontinyu. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlakuan pada sistem kontinyu menyerap lebih banyak logam Pb dibandingkan dengan sistem *batch*. Hasil analisis konsentrasi logam Pb dalam tanaman Genjer cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi dalam larutan limbah. Konsentrasi terserap logam Pb oleh tanaman Genjer disajikan dalam Tabel 4.4. Berdasarkan Tabel 4.4 dan Lampiran 3.6.1 dapat diketahui bahwa penyerapan

tertinggi pada sistem *batch* oleh tanaman Genjer terdapat pada variasi konsentrasi 20 mg/L. Logam Pb dalam air yang terserap sebesar 10,55 mg/L dari total konsentrasi awal. Kadar logam Pb yang terkandung dalam tanaman Genjer pada variasi tersebut adalah sebesar 3.374,4 mg/Kg BK. Selanjutnya penyerapan terendah terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L dengan penyerapan logam Pb dalam air sebesar 2,23 mg/L sehingga kadar logam Pb yang terkandung dalam Genjer sebesar 713,6 mg/Kg BK. Konsentrasi logam Pb yang terserap dari konsentrasi 5 mg/L ke 10 mg/L tidak menunjukkan tren peningkatan seperti pada variasi 10 mg/L ke 20 mg/L. Hal ini disebabkan oleh logam Pb yang diduga terserap oleh zeolit alam karena dipaparkan secara bersamaan. Selain itu, keadaan fisik tanaman menjadi penghambat proses penyerapan sehingga logam tidak terserap dengan baik.

Tabel 4.4 Rata-rata konsentrasi Pb terserap pada sistem *batch*

[Pb] awal (mg/L)	[Pb] terserap	
	[Pb] (mg/L)*	[Pb] (mg/Kg BK)**
5	2,23	713,6
10	2,87	916,8
20	10,55	3374,4

Keterangan: BK: Berat Kering

* Konsentrasi logam Pb pada instrument AAS

** Konsentrasi logam Pb hasil konversi Persamaan 3.2

Selanjutnya, konsentrasi terserap oleh tanaman Genjer secara sistem kontinyu dari berbagai variasi konsentrasi disajikan dalam Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5 dan Lampiran 3.6.2 Penyerapan tertinggi pada sistem kontinyu terdapat pada variasi konsentrasi 20 mg/L dengan konsentrasi logam Pb dalam tanaman Genjer sebesar 2.457,6 mg/Kg BK. Artinya konsentrasi logam dalam air penyerapannya sebesar 7,68 mg/L. Selanjutnya penyerapan terendah terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L dengan konsentrasi logam Pb dalam air yang terserap sebesar 2,52 mg/L. Kadar konsentrasi logam Pb yang terkandung dalam Genjer pada variasi konsentrasi tersebut adalah 806,4 mg/Kg BK. Konsentrasi logam Pb dalam biomassa tanaman cukup tinggi. Penyerapan logam Pb pada sistem kontinyu menunjukkan tren peningkatan yaitu semakin tinggi konsentrasi awal dalam larutan maka konsentrasi yang terserap oleh tanaman semakin meningkat. Hal ini

menandakan aktivitas akumulasi oleh Genjer berjalan cukup baik dan tidak adanya penghambat seperti sistem *batch* yaitu penyerapan oleh zeolit alam karena larutan dipaparkan secara terpisah. Konsentrasi penyerapan oleh tanaman Genjer secara sistem kontinyu dari berbagai variasi konsentrasi disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rata-rata konsentrasi Pb terserap pada sistem kontinyu

[Pb] awal (mg/L)	[Pb] terserap	
	[Pb] (mg/L)*	[Pb] (mg/Kg BK)**
5	2,52	806,4
10	4,3	1376
20	7,68	2457,6

Keterangan: BK: Berat Kering

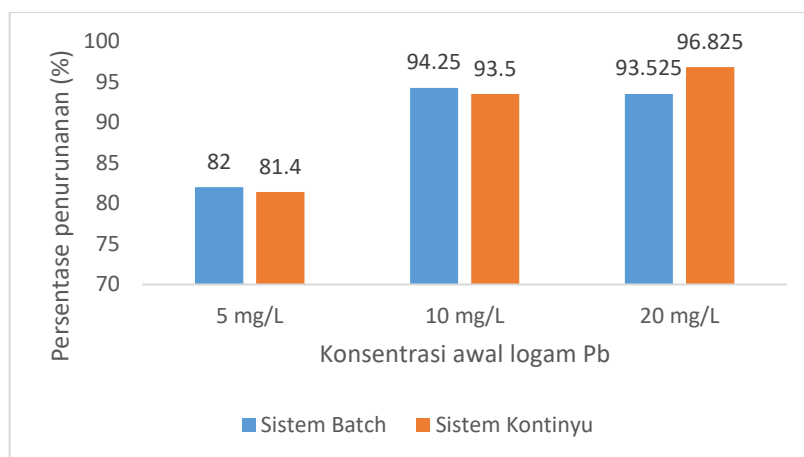
* Konsentrasi logam Pb pada instrument AAS

** Konsentrasi logam Pb hasil konversi Persamaan 3.2

4.3.2 Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb dalam Limbah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi Genjer dan zeolit alam menurunkan konsentrasi logam Pb dalam limbah artifisial dengan konsentrasi yaitu sebesar 5 mg/L, 10, mg/L, dan 20 mg/L selama 6 hari. Penelitian ini juga membandingkan efektivitas penurunan logam Pb secara sistem *batch* dan sistem kontinyu. Penentuan persentase penurunan logam Pb ditentukan berdasarkan konsentrasi logam Pb yang tersisa dalam limbah artifisial. Nilai persen penurunan didapatkan dengan menghitung perbandingan konsentrasi terserap dan konsentrasi awal dalam air. Perhitungan penurunan konsentrasi logam Pb dalam air dihitung menggunakan Persamaan 3.4. Berdasarkan penelitian (Suharto *et al.*, 2011) tentang penurunan kandungan logam pb dalam *leachate* melalui fitoremediasi bambu air dan zeolit alam dapat menurunkan 82,2% kadar Pb dalam waktu 4 minggu. Persentase penurunan logam Pb yang terserap oleh Genjer dan zeolit alam hasil penelitian disajikan dalam Gambar 4.3. Berdasarkan pada Gambar 4.3 dan Lampiran 3.7.2 dapat dilihat bahwa Genjer dan zeolit alam dengan komposisi massa yang sama pada setiap perlakuan dapat menurunkan logam Pb dengan nilai persen yang beragam. Perlakuan sistem *batch*, persentase penurunan terendah terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L yang dapat menurunkan konsentrasi logam sebesar 82%. Sedangkan persentase penurunan tertinggi terdapat pada konsentrasi 10 mg/L

dan 20 mg/L yang dapat menurunkan konsentrasi logam Pb masing-masing sebesar 94,25% dan 93,5%. Penurunan persentase penyerapan pada konsentrasi logam 20 mg/L dari 10 mg/L disebabkan oleh keadaan jenuh pada tanaman Genjer dan zeolit alam sehingga ion logam Pb dilepas kembali ke lingkungan dan terganggunya reaksi kimia yang terjadi pada tanaman.



Gambar 4.4 Rata-rata Persentase penurunan logam

Selanjutnya penurunan logam Pb pada perlakuan sistem kontinyu. Berdasarkan pada Gambar 4.3 dan Lampiran Lampiran 3.7.2, penurunan terendah terdapat pada konsentrasi 5 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 81,4%. Persentase penurunan pada variasi tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan persentase penurunan pada perlakuan sistem *batch*. Hal ini dapat disebabkan oleh kesehatan fisik dan keadaan jenuh pada adsorben. Persentase penurunan tertinggi terdapat pada variasi konsentrasi 20 mg/L yaitu sebesar 96,8%. Perlakuan sistem kontinyu menunjukkan tren semakin tinggi konsentrasi maka persen penurunannya akan semakin meningkat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kombinasi remediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam baik secara sistem *batch* dan sistem kontinyu dapat menurunkan konsentrasi logam Pb yang ada di perairan. Selain itu, perlakuan sistem kontinyu dapat menurunkan konsentrasi logam Pb lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *batch*.. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis penelitian (Suharto *et al.*, 2011) bahwa penurunan kandungan Pb menggunakan fitoremediasi tanaman melati air dan media tanam zeolit alam dengan sistem *batch* lebih efektif daripada sistem kontinyu.

4.4 Pengaruh Penambahan Zeolit Alam terhadap Penurunan Kadar Logam Pb

Penentuan pengaruh penambahan zeolit alam didasarkan pada selisih persentase penurunan logam Pb secara fitoremediasi Genjer dengan persentase penurunan logam Pb dengan kombinasi remediasi Genjer dengan adsorpsi zeolit alam. Kombinasi Genjer dan zeolit alam dilakukan dengan dua model perlakuan yaitu secara sistem *batch* dan sistem kontinyu. Hasil penelitian yang telah dilakukan dilampirkan pada Tabel 4.6. Berdasarkan pada Tabel 4.6 bahwa persentase penurunan terendah logam Pb menggunakan metode fitoremediasi Genjer adalah sebesar 50,1% yang terdapat pada variasi konsentrasi 5 mg/L. Sedangkan secara kombinasi remediasi genjer dan zeolit alam dapat menurunkan sebesar 82% pada sistem *batch* dan 81,4% pada kontinyu dengan variasi konsentrasi yang sama. Sehingga penambahan zeolit alam dapat meningkatkan persentase penurunan masing-masing sebesar 31,9% dan 31,3%.

Penurunan tertinggi secara fitoremediasi terdapat pada variasi konsentrasi 10 mg/L sebesar 67,8% sedangkan secara kombinasi pada sistem *batch* dan kontinyu dapat menurunkan sebesar 94,3% dan 93,5%. Sehingga penambahan zeolit alam dapat meningkatkan persentase penurunan masing-masing sebesar 26,5% dan 25,7%. Penurunan tertinggi menggunakan metode kombinasi remediasi Genjer dan zeolit alam terdapat pada variasi konsentrasi 20 mg/L. Penurunan konsentrasi logam Pb masing-masing pada perlakuan sistem *batch* dan kontinyu adalah sebesar 93,5% dan 96,8%. Peningkatan persentase penurunan pada masing-masing sistem adalah sebesar 36,55% dan 39,85%.

Tabel 4.6 Rata-rata persentase penurunan konsentrasi logam Pb

[Pb] awal (mg/L)	Fitoremediasi (%)	Sistem <i>batch</i> (%)	Pengaruh zeolit alam (%)	Sistem kontinyu (%)	Pengaruh zeolit alam (%)
5	50,1	82	31,3	81,4	42
10	67,8	94,3	25,4	93,5	25,8
20	56,95	93,5	31,4	96,8	39,6

Perbedaan persentase Pb terserap menunjukkan bahwa penambahan zeolit alam ke dalam proses remediasi berpengaruh dalam menurunkan konsentrasi logam Pb di perairan. Berdasarkan hasil penelitian bahwa penambahan zeolit alam ke dalam proses remediasi dapat meningkatkan penyerapan diatas 25%. Perlakuan sistem *batch* dan kontiyu menunjukkan bahwa penyerapan menggunakan sistem *batch* lebih tinggi dibandingkan sistem kontinyu. Berdasarkan penelitian (Warisaura *et al.*, 2019) proses adsorpsi-fitoremediasi, terkonsentrasi sebesar 80% pada zeolit alam dan 20% pada tanaman. Hal ini disebabkan karena zeolit alam mempunyai struktur rangka yang mengandung ruang kosong yang ditempati oleh kation dan molekul air yang bebas dan luasan permukaan yang relatif besar sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang tinggi dan menyumbang peran dalam menjerap ion merkuri lebih banyak. Hal tersebut tidak terbukti dalam penelitian yang telah dilakukan.

4.5 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Menggunakan One Way ANOVA

Analisis secara statistika untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap remediasi timbal oleh Genjer dilakukan dengan menggunakan metode one way ANOVA. Selanjutnya untuk mengetahui pada variasi berapakah Genjer dapat menyerap logam timbal secara signifikan dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) atau uji *Least Significance Difference* (LSD). Hipotesis yang diajukan pada analisis ini adalah:

1. $H_0 = 0$, maka tidak ada perbedaan pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap persen timbal yang teremediasi oleh Genjer.
2. $H_1 \neq 0$, maka minimal ada satu pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap persen timbal yang teremediasi oleh Genjer.

Hipotesis tersebut diuji berdasarkan aspek uji F dan uji probabilitas. Pengujian nilai F dinyatakan jika nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Uji probabilitas dinyatakan jika signifikansi (sig.) kurang dari alpha (5%) maka H_0 ditolak dan sebaliknya. Hasil uji statistik *one way* ANOVA ditampilkan pada Tabel 4.7. Hasil pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal tersebut berdasarkan pada uji nilai F dengan nilai

Fhitung > Ftabel (3,48) dan pada uji probabilitas dimana nilai sig. (0,001) lebih kecil dari alpha (0,005) sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa terdapat minimal satu pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap persentase penurunan logam Pb.

Tabel 4.7 Hasil uji statistika *one way* ANOVA

ANOVA					
Persen terserap	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	242.029	2	121.014	24.421	.001
Within Groups	29.732	6	4.955		
Total	271.761	8			

Selanjutnya dilakukan uji lanjut atau uji perbandingan berganda dengan menggunakan metode statistik uji BNT. Uji lanjut juga disebut posthoc tests. Uji perbandingan berganda digunakan untuk menguji perlakuan dari faktor dimana pengujian ANOVA dinyatakan signifikan atau terdapat minimal 1 pasang perlakuan yang memiliki pengaruh yang berbeda. Hasil uji BNT ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil uji BNT

[Pb] awal (mg/L)	Rata-rata	Notasi
5	81.6000	A
10	93.3000	B
20	91.7333	C

4.6 Integrasi Penelitian dalam Perspektif Islam

Dewasa ini marak sekali pencemaran lingkungan yang diakibatkan berbagai macam jenis limbah salah satunya limbah logam berat. Penelitian ini mengkaji tentang remediasi Genjer dengan penambahan zeolit alam dalam menurunkan kadar logam berat timbal di perairan agar tidak membahayakan ekosistem. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Genjer dan zeolit efektif dalam menurunkan kadar logam timbal di lingkungan terutama perairan dengan efisiensi rata-rata mencapai 90 %. Metode ini menjadi salah satu alternatif dalam memulihkan serta menjaga lingkungan hidup. Pemulihan lingkungan hidup yang rusak menggunakan metode ini menjadi bentuk tugas dan tanggung jawab manusia sebagai khalifah di muka bumi sebagaimana dalam firman Allah SWT:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ (البقرة : ٣٠)

Artinya, “(Ingat) ketika Tuhanmu berkata kepada malaikat, ‘Aku ingin menjadikan khalifah di bumi.’ Mereka bertanya, ‘Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana? Padahal, kami bertasbih memuji dan menyucikan nama-Mu.’ Dia berkata, ‘Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kalian ketahui,’” (QS. Al-Baqarah ayat 30).

M. Quraish Shihab menjelaskan kata khilafah sebagai “perwakilan”. Faktanya, itu berarti “melakukan tugas tertentu atas nama orang lain”. Manusia diciptakan untuk menjadi utusan Tuhan di bumi melestarikan, melindungi, dan merawat bumi adalah apa yang dia inginkan. Namun Tuhan ingin menguji umat manusia dan menghormatinya. Manusia adalah satu-satunya ciptaan Allah yang layak selesaikan perintah ini. Berkaitan dengan kedudukan khalifah di bumi, Hamka mengatakan bahwa khalifah memiliki dua arti, yakni: pertama, pengganti dari makhluk dulu-dulu yang telah musnah. Hal ini didasarkan karena sebelum Allah menjadikan Adam nenek moyang manusia. Kedua, bermakna pengganti dari Allah sendiri. Pengertian pengganti di sini bagi Hamka adalah diangkat, jadi manusia sebagai pengganti Allah tidak terkesan antara manusia dengan Allah kedudukannya sama. Manusialah yang terpilih sebagai khalifah untuk mengatur bumi dan mengeluarkan rahasia terpendam di dalamnya (Munaji, 2019).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT telah mengingatkan kepada kita sebagai umat islam untuk melestraikan lingkungan perairan dengan cara yang mudah yaitu melalui fitoremediasi Genjer dan adsorpsi zeolit alam. Islam sangatlah memudahkan. Penelitian dengan tema fitoremdiasi ini mengkaji kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Pb. Karena tanpa disadari, Genjer yang sering dianggap sebagai gulma merupakan sebuah tanaman yang mampu menyerap atau meremediasi polutan baik limbah organik maupun anorganik. Fitoremediasi adalah proses pembersihan polutan menggunakan tanaman. Nabi Muhammad SAW telah bersabda:

حَدَّثَنَا حَسَنُ حَدَّثَنَا ابْنُ هَيْعَةَ حَدَّثَنَا أَبُو الزُّبَيْرِ عَنْ جَابِرٍ قَالَ زَجَرَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ أَنَّ يُبَالَ فِي الْمَاءِ

الرَّكِيْدِ (رواه أحمد)

Artinya: *“Telah menceritakan kepada kami Hasan telah menceritakan kepada kami Ibnu Lahi” ah telah menceritakan kepada kami Abu Az Zubair dari Jabir berkata; Rasulullah shallallahu ,alaihi wasallam melarang kencing di air yang menggenang.” (HR. Ahmad).*

Hadits di atas menjelaskan bahwa Nabi Muhammad SAW telah mengingatkan umat islam untuk tidak mencemari lingkungan perairan dengan cara yang mudah yaitu tidak membuang kotoran pada daerah tertentu. Kita dilarang mandi atau kencing di air yang tenang karena berdampak buruk bagi orang lain. Apabila kita mandi atau kencing di air yang tenang artinya tidak mengalir maka air tersebut akan tercemar dan menjadi najis (Athiyah, 2017). Selain itu juga pasti air tersebut mengandung zat-zat yang berbahaya seperti urea atau amonia. Keberadaan amonia dalam air sungai yang melebihi ambang batas dapat mengganggu ekosistem perairan dan makhluk hidup lainnya. Amonia dapat bersifat racun pada manusia jika jumlah yang masuk tubuh melebihi jumlah yang dapat didetoksifikasi oleh tubuh. Pada manusia, resiko terbesar adalah dari penghirupan uap amonia yang berakibat beberapa efek diantaranya iritasi pada kulit, mata dan saluran pernafasan. Jika terlarut di perairan akan meningkatkan konsentrasi amonia yang menyebabkan keracunan bagi hampir semua organisme perairan (Mia dan Mira, 2015). Hal ini menjadi pengingat bagi manusia agar tidak mencemari lingkungan agar keseimbangan lingkungan tetap terjaga.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb) dalam perairan menunjukkan penurunan tertinggi pada konsentrasi 10 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 67,8 % dari konsentrasi awal di perairan dengan waktu pemaparan selama 6 hari
2. Penurunan kadar limbah logam berat timbal (Pb) dalam perairan menggunakan metode kombinasi Genjer dan zeolit alam menunjukkan penurunan tertinggi pada konsentrasi 10 mg/L dengan rata-rata persentase penurunan sebesar 94,25% secara sistem *batch* dan sebesar 96,8% pada sistem kontinyu variasi konsentrasi 20 mg/L dari konsentrasi awal di perairan dengan waktu pemaparan selama 6 hari
3. Efektivitas penambahan zeolit alam ke dalam proses remediasi terhadap penurunan logam Pb dapat meningkatkan persentase penurunan konsentrasi logam Pb di perairan mencapai lebih dari 25%.

5.2 Saran

1. Analisis kemampuan tanaman Genjer dalam meremediasi logam Pb dapat dikaji lagi dengan teknik sistem perlakuan secara kombinasi fitoremediasi-adsorpsi.
2. Proses remediasi agar ditambahkan media tanam dan larutan nutrisi Hoagland sebagai media tumbuh.
3. Perlu dilakukan analisis konsentrasi logam berat terlebih dahulu sebelum adsorpsi oleh zeolit alam pada perlakuan secara kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

- Alikasturi, A. S., Kamil, M. Z. A. M., Shakri, N. A. A. M., Serit, M. E., Rahim, N. S. A., Shahrudin, S., Anuar, M. R., & Radzi, A. R. M. 2019. Phytoremediation of Copper in Mineral, Distilled and Surface Water using *Limncharis Flava* plant. *Materials Today: Proceedings 2019*; Malaysia. Malaysia: The Scientific Committee of The International Conference on Chemical Sciences and Engineering: Advance and New Materials, ICCSE 2018. Halaman 19: 1489–1496.
- Amalia, S., A Ghanaim Fasya., Umi Hasanah dan Mohammad Rosydul Aqli HS. 2023. Efektifitas *Limncharis Flava* dan *Hydrilla Verticillata* Sebagai Fitoremediator Logam Tembaga. *Alchemy: Journal Of Chemistry*. Vol 11 (2): 43-50
- Andriyaningrum, S., Yusuf, B. dan Gunawan, Rahmat. 2018. Perbandingan Metode Destruksi Basah Sistem Terbuka dan Tertutup terhadap Analisis Logam Timbal (Pb) dalam Sampel Tanah pada Daerah Bekas Pertambangan di Samarinda dengan AAS. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2018*. Kimia FMIPA UNMUL.
- Arnot, J. A dan Gobas, F. A. P. C. 2006. A Review of Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Assessments for Organic Chemicals in Aquatic. *Environmental Review*. 14: 257-297.
- Asmorowati, Dian Sri., Sumarti, Sri Susilogati., Kristanti, I. 2020. Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3): 169–173.
- Atici, T., Obali, O., Altindag, A., Ahiska, S., & Aydin, D. 2010. The Accumulation of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and Their State in Phytoplanktonic Algae and Zooplanktonic Organisms in Beysehir Lake and Mogan Lake, Turkey. *African Journal of Biotechnology*. 9(4): 475–487.
- Athiyah, Cut N. Ummu. 2017. Pelestarian Lingkungan Hidup dalam Perspektif Hadits. *Jurnal Bimas Islam*. 10 (2): 321-354.
- Avlenda, E. 2009. Penggunaan Kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) dan Genjer (*Limncharis flava* (L.) Buch.) dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Skripsi*. Sekolah Tinggi Ilmu Hayati. Bandung: ITB.
- Azizah, Mia dan Mira Humairoh. 2015. Analisis Kadar Amonia (NH₃) Dalam Air Sungai Cileungsi. *Jurnal Nusa Sylva*. 15 (1) : 47-54.
- Badan Pusat Statistika. 2021. *Persentase Limbah Cair yang Diolah Secara Aman*. Jakarta: BPS RI 2021.
- Badan Pusat Obat dan Makanan 2017. *Baku mutu BPOM RI No.23 Tahun 2017 tentang batas maksimum logam Pb dalam buah dan sayuran*. Jakarta: BPOM RI 2017.

- Baker A.J.M. dan Brooks R.R. 1989. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements—a Review of their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery* (1): 81–126.
- Baroroh, F., Handayanto, E., dan Irawanto, R. 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.
- Casas, J. A. S., dan Sordo, J. A. 2006. Environmental Occurrence, Health Effects and Management of Lead Poisoning. *Lead*. 158–228.
- Cut Raziah, Zerlinda Putri, Atika Rahmi Lubis, Sofyana, Zuhra, Suhendrayatna, dan Sri Mulyati. 2017. Penurunan Kadar Logam Kadmium Menggunakan Adsorben Nano Zeolit Alam Aceh. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(1): 1–6.
- Day & Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Dewayani, R. K., dan Haryanto, H. 2021. Pengaruh Kuat Arus dan Luas Penampang Elektroda Terhadap Penurunan Kadar COD Dan TSS pada Limbah Cair Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Envirotek*. 13(2): 92–97.
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C., dan Ekwurugwu, J. N. 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2(5): 112–118.
- Dushenkov, V., Nanda Kumar, P. B. A., Motto, H., & Raskin, I. 1995. Rhizofiltration: The Use of Plants To Remove Heavy Metals from Aqueous Streams. *Environmental Science and Technology*. 29(5): 1239–1245.
- Estuningsi, P., Hidayati dan Syarif. 2013. Potensi Tanaman Rumput Sebagai Agen Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 1:360-370.
- Etim, E. E. 2012. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*. 2(3): 120–136.
- Faqihuddin, dan Ubaydillah, M. I. 2021. Perbandingan Metode Destruksi Kering dan Destruksi Basah Instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk Analisis Logam. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset Dan Pengabdian Ke-III (SNHRP-III 2021)*; Surabaya, 28 Agustus 2021. 86: 121–127.
- Farobi, W. A. Al. 2019. Fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb). *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Fata, A. K. 2014. Teologi Lingkungan Hidup Dalam. *Ulul Albab*. 15(2), 131–147.
- Febriani, H., Puspitasari, D. J., Ruslan, dan Sosidi, H. 2021. Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Menggunakan Biomassa Daun Genjer (*Limnocharis flava*). *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*. 7(2): 131–136.

- 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*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Fu, Z., dan Xi, S. 2020. The Effects of Heavy Metals on Human Metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*. 30(3): 167–176.
- Hall, J. L. 2002. Cellular Mechanism for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 53 (366): 1-11.
- Hamka, 2003, Tasawuf Modern, Jakarta: Pustaka Panjimas.
- Haryati, M., Purnomo, T., & Kuntjoro, S. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava (L.)Buch.*) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*. 1(3): 131–138.
- Hasanah, U. 2020. Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) oleh Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) dari Sawah Di Daerah Malang Berdasarkan Variasi Konsentrasi dan Waktu Pemaparan. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Hasmizal, H., dan Bhernama, B. G. 2021. Analisis Kadar Logam Hg pada Sampel *Perna Viridis L* dengan Menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer. *Amina*. 1(3): 120–125.
- Herlambang, P., dan Hendriyanto, O. 2015. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) dan Genjer (*Limnocharis Flava L.*). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 7:2.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences*. 12(1): 35–40.
- Hidayati, Nuril. 2013. Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*., Vol. 14: 2.
- Irianti, T. T., Kuswadi, Nuranto, S., dan Budiyatni, A. 2017. *Logam Berat dan Kesehatan*. Yogyakarta: Grafika Indah ISBN: 979820492-1.
- Irvantino, Brian., Sri Wahyuni., dan Subiyanto Hadi Saputro. 2013. Preparasi Katalis Ni/ZA dengan Metode Sonokimia untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietilen. *Indonesiian Journal Of Chemical Science*. 2(2): 161-166
- ITRC. 2003. *Technical and Regulatory Guidance Document For Constructed Treatment Wetlands*. In Technology (Issue December). www.itrcweb.org.
- Jamila, C. N. S. U., Chandra, B., Zulharmita, Z., dan Rivai, H. 2021. The Ethnopharmacology, Phytochemistry, Pharmacology Activities of Yellow Velvetleaf Plant (*Limnocharis flava*): A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine*. 6(5): 12–20.

- J. Cejka & H. van Bekkum. 2005. Zeolites and Ordered Mesoporous Materials: Progress and Prospects. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 157 (9): 394.
- Kamarudzaman, A., dan Ismail, N. 2011. Removal of Heavy Metals from Landfill Leachate Using Horizontal and Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland Planted with *Limnocharis flava*. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*. 11(5): 73–79.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. *Data Statistik Kualitas Air, Udara, dan Tutupan Lahan*. Jakarta: Ditjen PPKL KLHK RI.
- Khopkar, S. M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Komarawidjaja, W. 2017. Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2): 173–181.
- Kratena, Nicolas., Tobias Gçkler., Lara Maltrovsky., Eva Oburger., & Christian Stanetty. 2021. A Unified Approach to Phytosiderophore Natural Products. *Chemistry—A European Journal*. 27: 577-580.
- Kristianingrum, S. 2012. Kajian Berbagai Proses Destruksi Sampel dan Efeknya. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*; Yogyakarta, 2 Juni 2012. 2(3): 195–202.
- Kurniawan, F., Cahyadi, T. A., Ernawati, R., Sb, W., dan Amri, N. A. 2022. Overview Metode Fitoremediasi Terhadap Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Menggunakan Jenis Tumbuhan Air. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022*; Yogyakarta, November 2022. Halaman 247-254.
- Lestari, A., Anita, S., dan Hanifah, T. A. 2017. Potensi Tanaman Genjer (*limnocharis flava*, (L.) Buch) Sebagai Fitoremediator Ion Kadmium (II), Kromium (VI) dan Timbal (II). *JOM FMIPA Universitas Riau*. 2 (2): 1-7.
- Maulidya, A. 2019. Studi Efektifitas Fitoremediasi Tanaman Bambu Air dan Zeolit Guna Mereduksi Logam Timbal (Pb) dan Seng (Zn). *Skripsi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Munaji. 2019. Ayat-Ayat Konservasi Lingkungan (Analisis Tafsir Al-Azhar Karya Buya Hamka dan Tafsir Al-Misbah Karya M. Quraish Shihab). *Tesis*. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., Lapailaka, T., Rachmat Triandi, T., Sabarudin, A., Darmokoesoemo, H., dan Kusuma, H. S. 2021. Adsorption of Cu (II) and Pb (II) Using Silica Adsorbent Synthesized From Silica of Takari sand: Optimization of Parameters and Kinetics. *Rasayan Journal of Chemistry*. 14(1): 550–560.
- Naria, E. 2005. Mewaspadaai Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*. 17(4): 67.

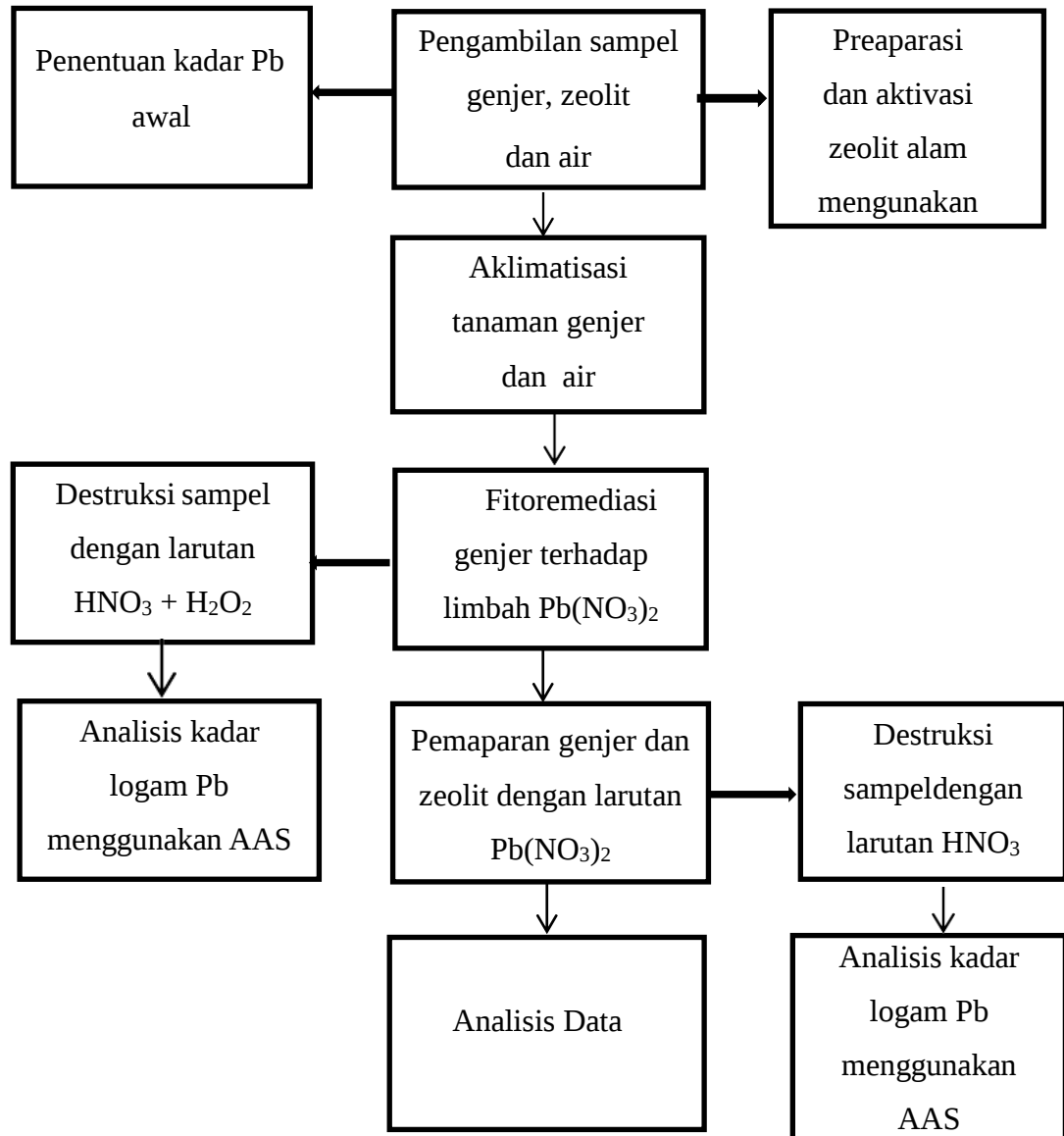
- Nasution, H., Fatimah, S., Perdana, F., dan Siregar, S. H. 2021. Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes L*) dengan penambahan Zeolit sebagai Agen Fitoremediasi Air Terkontaminasi Logam Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Dan Timbal (Pb). *Sains Dan Kesehatan*. 11: 6.
- Ngapa, Y. D., dan Gago, J. 2019. Adsorpsi Ion Pb (II) Oleh Zeolit Alam Ende Teraktivasi Asam: Studi Pengembangan Mineral Alternatif Penjerap. *Cakra Kimia*. 7(2): 84–91.
- Ningsih, D. A., Said, I., dan Ningsih, P. 2017. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. *Jurnal Akademika Kimia*. 5(2): 55.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I. U., dan Shobron, S. 2018. Kerusakan Alam dalam al-Quran. *Suhuf*. 30(2): 194–220.
- Oktoviana, I., Hanifah, T. A., dan Kartika, G. F. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) Sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II). *JOM FMIPA*. Volume 2 Nomor 2.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Plantamor. 2008. Genjer. <http://www.plantamor.com/index.php?plant=777>. [Diakses 20 Mei 2022].
- Pratiwi, D. Y. 2020. Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*. 1(1): 59–65.
- Priambodo, A. N., Alfian Wijayanto, A., dan Udyani, K. 2019. Pengolahan Limbah Industri Batik Tulis dengan Metode Gabungan Adsorpsi dan Elektrokoagulasi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VII 2019*; Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Purnamisari, R. M. 2012. Analisis Timbal, Tembaga, Kadmium pada Daun dan Batang Selada, Bayam Merah dan Genjer secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahmawati, A. 2020. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Adsorben Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Termodifikasi Asam Sitrat. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Rahmi, R., dan Sajidah. 2017. Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2017*; Banda Aceh 9 November 2017. Halaman 271–279.
- Rawung, D. T. 2020. *Metode Penarikan Sampel*. Jakarta: Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Badan Pusat Statistik RI.
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, S. N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., dan Hasanuzzaman, M. 2020. Phytoremediation Of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms. *Biology*. 9(7): 1–46.

- Renni, C. P., Mahatmanti, F. W., dan Widiarti, N. 2018. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Fe (III) dan Cr (VI). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1), 65–70.
- Rijal, M., Amin, M., Rochman, F., dan Suarsini, E. 2016. Response Growth and The Effectiveness of The Absorption of Heavy Metal B-III By *Limnocharis Flava* on A Scale Laboratory. *International Journal of ChemTech Research*. 9(6): 596–602.
- Rijal, M., Amin, M., Rohman, F., Suarsini, E., & Alim Natsir, N. 2016. *Pistia stratiotes* and *Limnocharis Flava* as Phytoremediation Heavy Metals Lead and Cadmium in the Arbes Ambon. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*. 27(2): 182–188.
- Riyadi, A., Mulyani, N, & Malik, M. 2022. Penurunan Kadar BOD, COD Dan TSS dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik (Grey Water) Menggunakan Metode Aerasi dan Fitoremediasi Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*). *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 1–8.
- Rodrigo, M.A.M.,. 2013. Ion Exchange Chromatography and Mass Spectrometric Methods for Analysis of Cadmium-Phytochelatin(II) Complexes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10: 1304-1311.
- Selvina, M., Fahrialam, A., Anthony Wijaya, L., Rahmah Karunianti, A., dan Wayan Warmada, I. 2021. Study Characteristics of Zeolite in Yogyakarta and its Utilization as a Builder Agent to Produce Environmentally Friendly Detergent. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 21(4): 189–196.
- Sharma, S., dan S, R. 2016. Physical, Chemical and Phytoremediation Technique for Removal of Heavy Metals. *Journal of Heavy Metal Toxicity and Diseases*. 1(2):1–15.
- Shihab, M.Q. 2000. *Tafsir Al-Misbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- Solikah, S., dan Utami, B. 2014. Perbedaan Penggunaan Adsorben dari Zeolit Alam Teraktivasi dan Zeolit Terimmobilisasi Dithizon Untuk Penyerapan Ion Logam Tembaga (Cu^{2+}). *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia VI*; Surakarta, 21 Juni 2014. Halaman 342–354.
- Sonone, S. S., Jadhav, S. V, Sankhla, M. S., Kumar, R., dan Abuse, D. 2020. Water Contamination by Heavy Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain. *Letters in Applied NanoBioScience*. 10(2): 2148–2166.
- Suharto, B., Susanawati, L. D., dan Wilistien, B. I. 2011. Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan Zeolit. *Agrointek*. 5(2), 43–59. .
- Susilo, A. J., dan Nugroho, T. S. 2020. Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Batik di Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan*. 309–317.

- Tangio, J. S. 2013. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi*. 8(1): 500–506.
- Thuraidah, A., Indra Puspita, E., dan Oktiyan. 2016. Pengaruh Genjer (*Limnocharis Flava*) Terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Industri Karet. *Medical Laboratory Technology Journal*. 2(1): 6–10.
- Twyman, R. M. 2005. Sample Dissolution for Elemental Analysis: Wet Digestion. *Elsevier*. 4503–4510.
- Verma, R., dan Dwivedi, P. 2013. Heavy Metal Water Pollution- A case study. *Recent Research in Science and Technology*. 5(5): 98–99.
- Warisaura, A. D., Sukmawati, P. D., dan Irsyad Briantama Reza. 2019. Studi Kemampuan Kombinasi Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) dan Zeolit Terhadap Penurunan Warna, COD, TSS Limbah Pewarna Remazol Red Rb. *Simposium Nasional RAPI XV 2019*; Yogyakarta. Halaman 182–187.
- Wei, Z., Van Le, Q., Peng, W., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., Lam, S. S., dan Sonne, C. 2021. A Review on Phytoremediation of Contaminants in Air, Water and Soil. *Journal of Hazardous Materials*. 403.
- Welhelmus Djo, Yuliana Herman., Dwi Adhi Suastuti., Iryanti E. Suprihatin., Wahyu Dwijani Sulihingtyas. 2017. Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) untuk Menurunkan COD Dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. 6(2).
- Wilschefski, S. C., & Baxter, M. R. 2019. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry : Introduction to Analytical Aspects. *Clin Biochem*. 40(3): 115–133.
- Windusari, Y., Aini, I. N., Setiawan, A., dan Aetin, E. N. 2019. Deteksi Frekuensi Distribusi Timbal dalam Darah Pekerja Pengisi Bahan Bakar: Studi Kasus SPBU di Plaju, Sumatera Selatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 18(1): 62.
- Yulaipi S. dan Aunurrohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. 2(2): 2337–3520.

LAMPIRAN

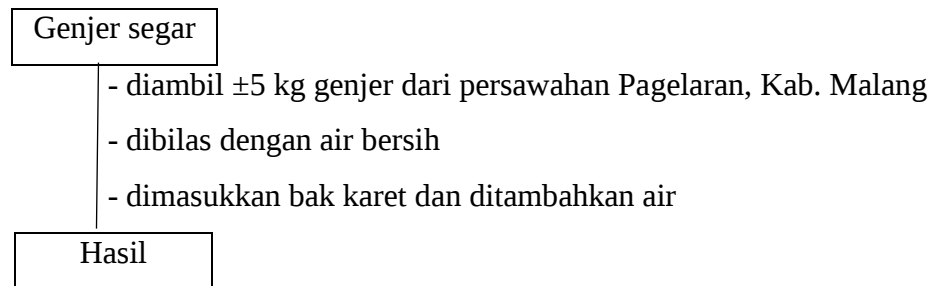
Lampiran 1. Rancangan Penelitian



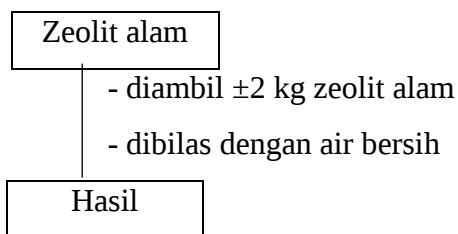
Lampiran 2. Diagram alir

1. Pengambilan Sampel

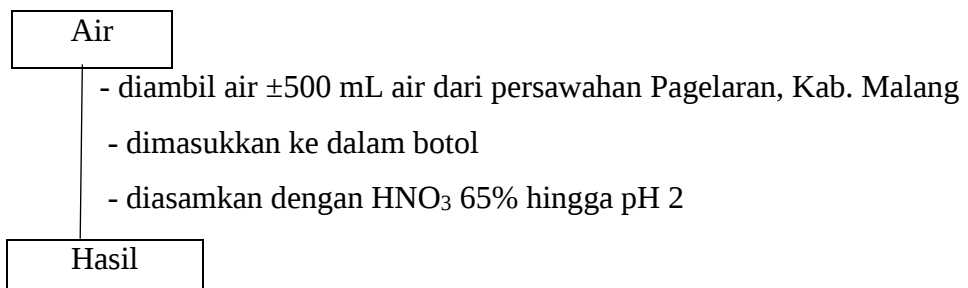
a. Tanaman Genjer



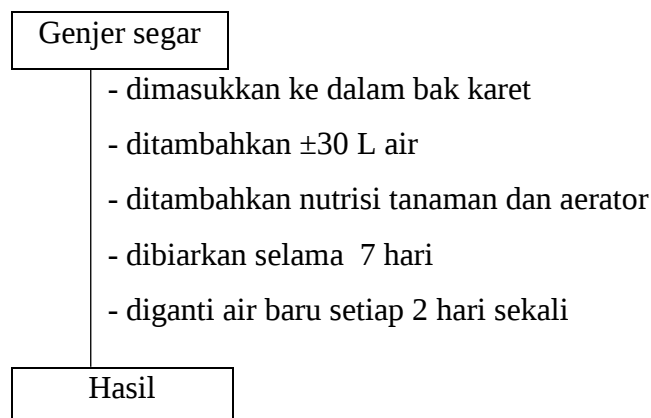
b. Zeolit Alam



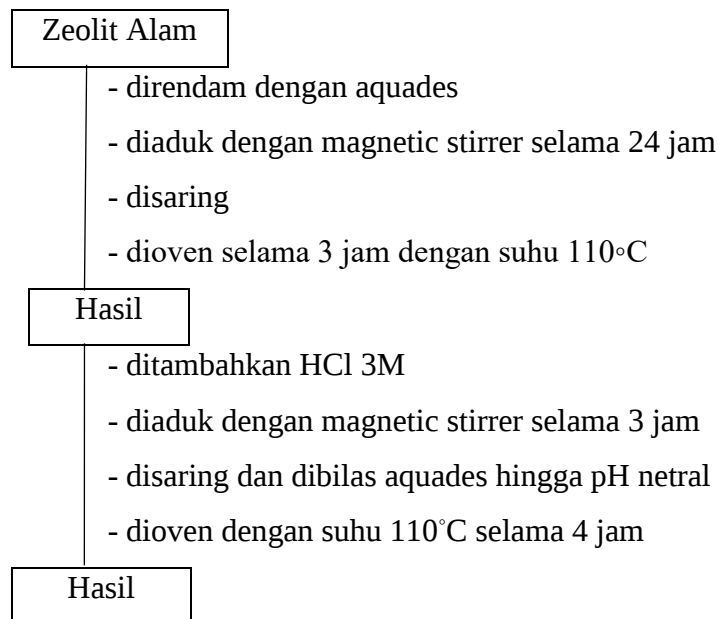
c. Air



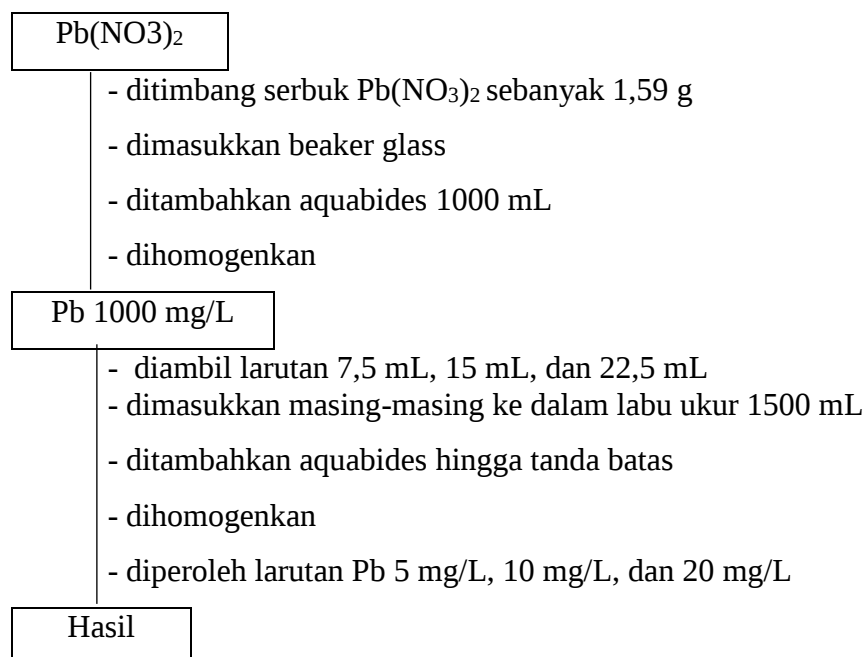
2. Aklimatisasi Genjer



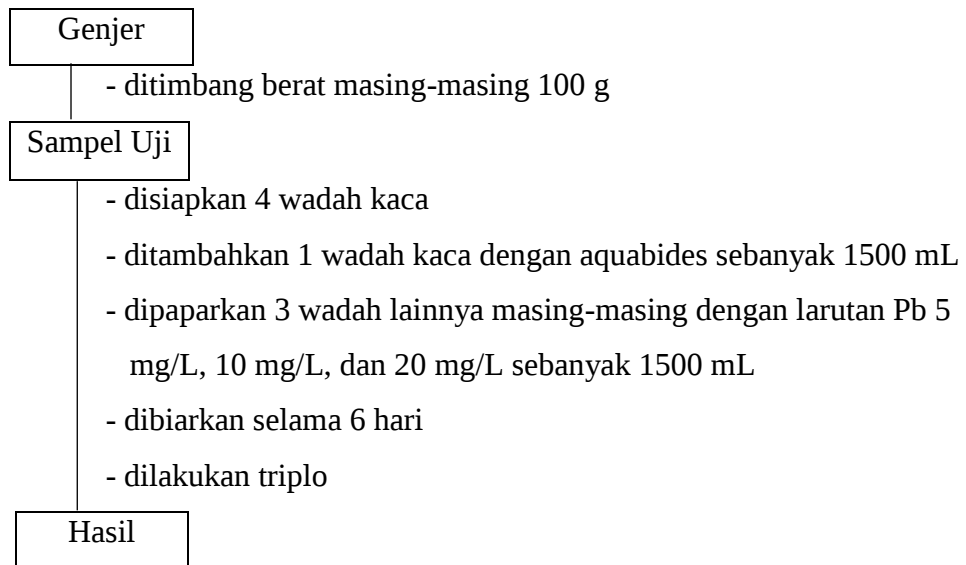
3. Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam



4. Preparasi larutan Pb

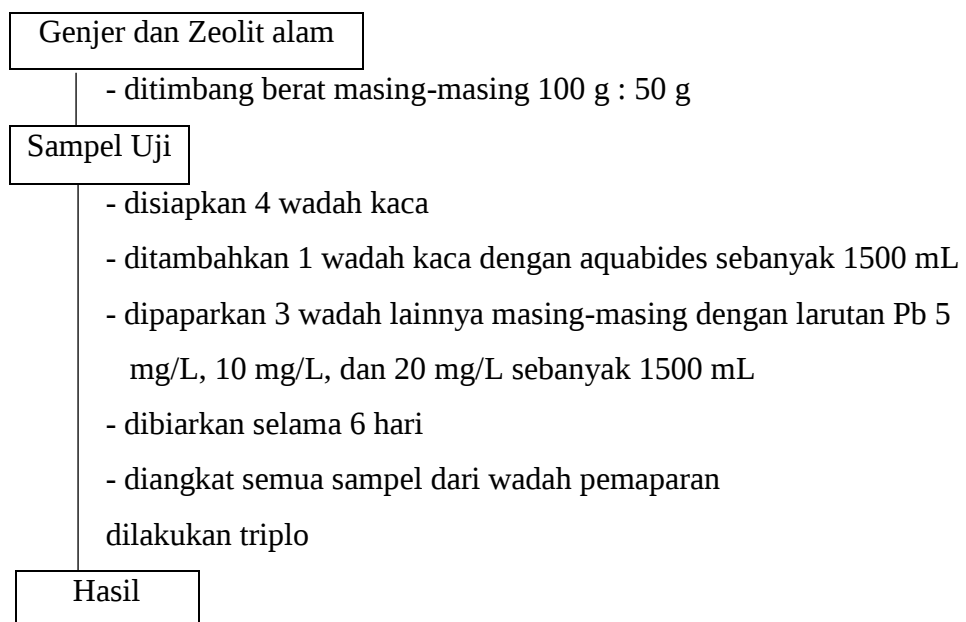


5. Pemaparan Genjer dengan Logam Berat Pb

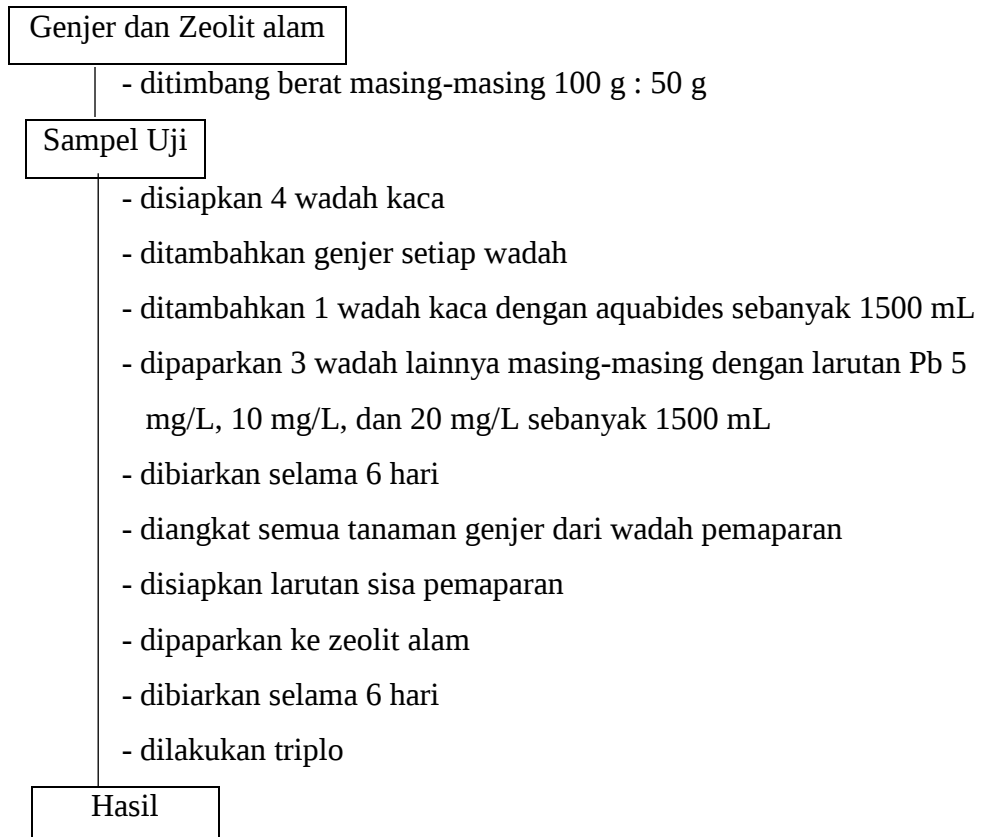


6. Pemaparan Genjer dan Zeolit Alam dengan Logam Berat Pb

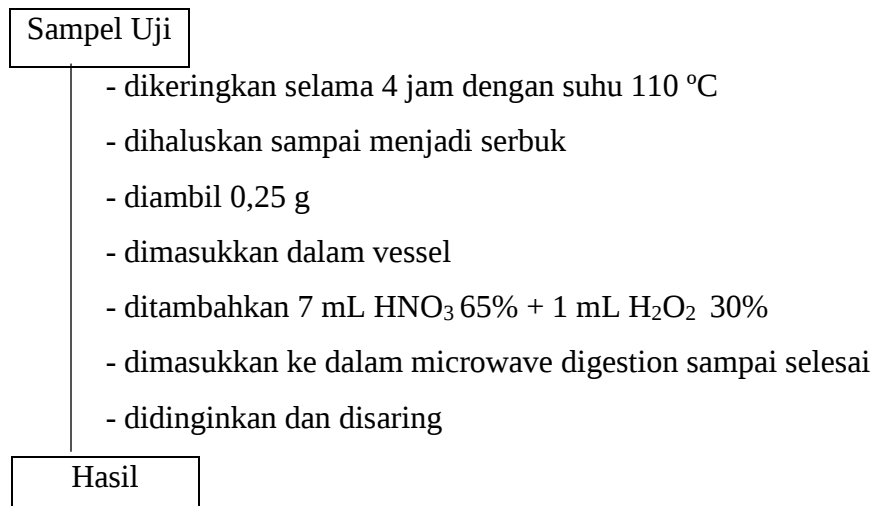
a. Pemaparan Genjer dan Zeolit Alam Sistem *Batch*



b. Pemaparan Genjer dan Zeolit Alam Secara Kontinyu

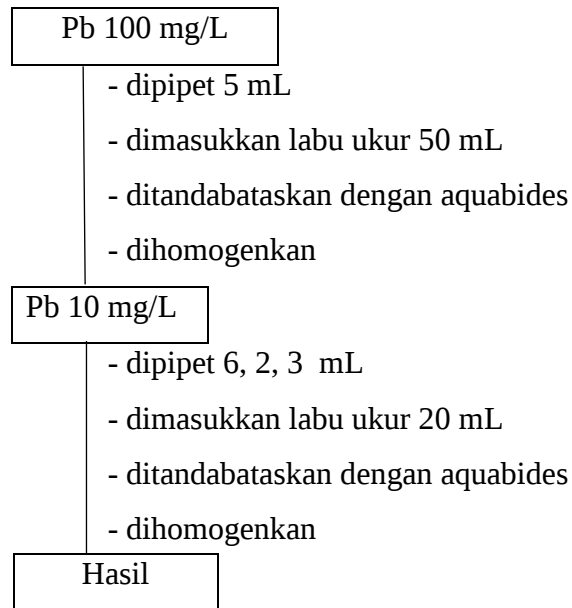


7. Destruksi Sampel

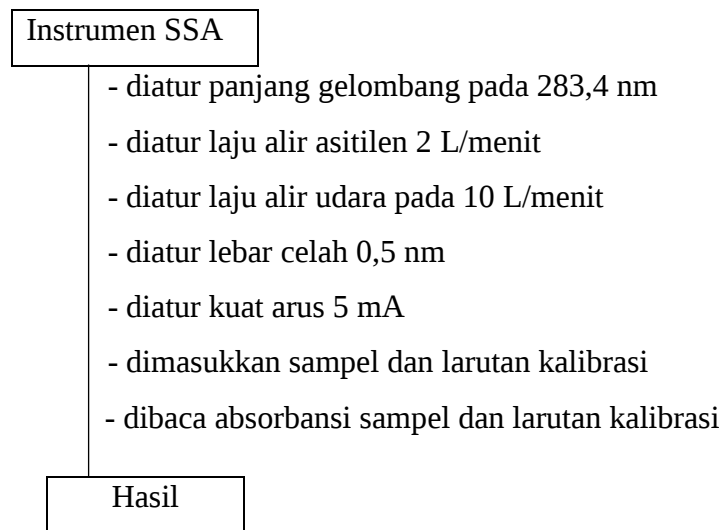


8. Analisis Kadar Pb dengan SSA

a. Preparasi Larutan Standar



b. Analisis dengan Instrumen



Lampiran 3. Perhitungan

3.1 Pembuatan Larutan Logam Timbal (Pb) untuk Pemaparan

a. Pembuatan Larutan Stok Timbal (Pb) 1000 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Pb(NO}_3)_2 &= \frac{\text{BM Pb(NO}_3)_2}{\text{BA Pb}} \times 1000 \text{ mg} \\
 &= \frac{331 \text{ g/mol}}{207 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg} \\
 &= 1590 \text{ mg} \\
 &= 1,59 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 1,59 g $\text{Pb(NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 1000 mL aquabides untuk membuat larutan stok timbal (Pb) 1000 mg/L.

b. Pembuatan Limbah Artifisial Timbal (Pb)

i. Pembuatan Larutan Timbal (Pb) 5 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 1000 \text{ mg/L} \times V_1 &= 5 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{5 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 7,5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 7,5 mL g $\text{Pb(NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 1500 mL aquabides untuk membuat larutan timbal (Pb) 5 mg/L.

ii. Pembuatan Larutan Timbal (Pb) 10 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 1000 \text{ mg/L} \times V_1 &= 10 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{10 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 15 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 15 mL g $\text{Pb(NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 1500 mL aquabides untuk membuat larutan timbal (Pb) 10 mg/L.

iii. Pembuatan Larutan Timbal (Pb) 20 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 1000 \text{ mg/L} \times V_1 &= 20 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{15 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 30 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 22,5 mL g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 1500 mL aquabides untuk membuat larutan timbal (Pb) 15 mg/L.

c. Pembuatan Larutan Standar Timbal (Pb)

i. Pembuatan Stok Larutan Timbal (Pb) 100 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 1000 \text{ mg/L} \times V_1 &= 100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 5 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 50 mL aquabides untuk membuat larutan stok timbal (Pb) 100 mg/L.

ii. Pembuatan Stok Larutan Timbal (Pb) 10 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 100 \text{ mg/L} \times V_1 &= 10 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{10 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 5 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 50 mL aquabides untuk membuat larutan stok timbal (Pb) 10 mg/L.

iii. Pembuatan Larutan Standar Timbal (Pb) 3 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 10 \text{ mg/L} \times V_1 &= 3 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{3 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL}}{10 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 6 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 6 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 20 mL aquabides untuk membuat larutan standar timbal (Pb) 3 mg/L.

iv. Pembuatan Larutan Standar Timbal (Pb) 5 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 100 \text{ mg/L} \times V_1 &= 5 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{5 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 1 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 1 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 20 mL aquabides untuk membuat larutan standar timbal (Pb) 5 mg/L.

v. Pembuatan Stok Larutan Timbal (Pb) 10 mg/L

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 100 \text{ mg/L} \times V_1 &= 10 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{10 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}} \\
 V_1 &= 2 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Sehingga dibutuhkan 2 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 20 mL aquabides untuk membuat larutan stok timbal (Pb) 10 mg/L.

vi. Pembuatan Stok Larutan Timbal (Pb) 10 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 15 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{15 \text{ mg/L} \times 20 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

Sehingga dibutuhkan 3 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dilarutkan dalam 20 mL aquabides untuk membuat larutan stok timbal (Pb) 15 mg/L.

3.2 Pembuatan Larutan HCl 3 M

$$\text{Dik : Massa Jenis } (\rho) \text{ HCl } 37\% = 1,19 \text{ kg/L}$$

$$= 1190 \text{ g/L}$$

$$\text{Mr HCl} = 36,5 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mol HCl} = m \times v$$

$$= 3 \text{ M} \times 1 \text{ L}$$

$$= 3 \text{ mol}$$

$$\text{Massa HCl} = n \times \text{Mr}$$

$$= 3 \text{ mol} \times 36,5 \text{ g/mol}$$

$$= 109,5 \text{ g}$$

$$V \text{ HCl} = \frac{m}{\% \text{HCl} \times \rho}$$

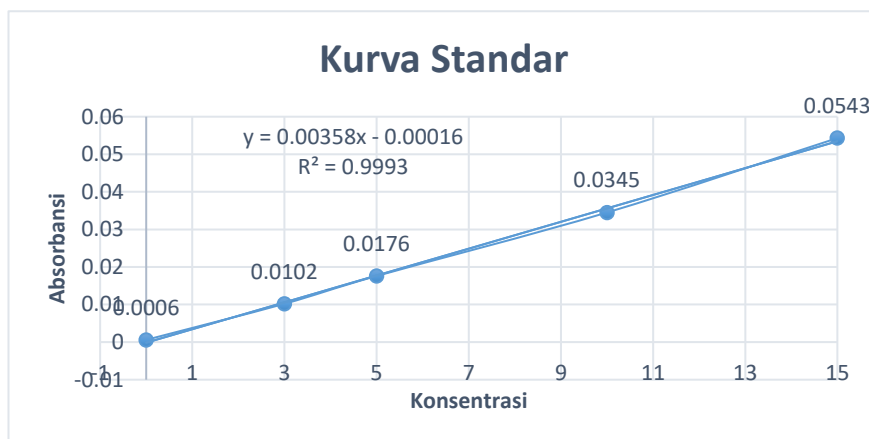
$$= \frac{109,5 \text{ g}}{0,37 \times 1190 \text{ g/L}}$$

$$= 0,24869 \text{ L}$$

$$= 248,69 \text{ mL}$$

Sehingga dibutuhkan sekitar 248,69 mL HCl 37% untuk membuat larutan HCl 3 M dalam 1000 mL aquades.

3.3 Hasil Uji Linieritas Dan Sensitivitas



3.4 Penentuan Konsentrasi Pb pada Akar, Batang, dan Daun Genjer pada Metode Fitoremediasi

Perhitungan konsentrasi logam Pb pada tiap tanaman Genjer adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{Pb}] &= \frac{[\text{Pb}] \text{ instrumen } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)} \times f_p}{m \text{ destruksi (Kg)}} \\
 &= \frac{1,5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,008 \text{ L} \times 10}{0,00025 \text{ Kg}} \\
 &= 480 \text{ mg/Kg BK}
 \end{aligned}$$

Dengan persamaan yang sama maka diperoleh konsentrasi Pb dalam akar, batang, dan, daun dalam Tabel L3.4.1- L3.4.3. Hasil rata-rata diperoleh dari dua kali pengulangan perlakuan yang ditandai dengan huruf tebal.

Tabel L3.4.1 Kosentrasi Pb dalam akar Genjer

[Pb]awal (mg/L)	Konsentrasi Pb (mg/L)		Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)	
	Akar	Rata-rata	Akar	Rata-rata
5	1,5		480	
5	1,82	1,9	582,4	608
5	1,98		633,6	
10	5,21		1667,2	
10	5,31	5,18	1699,2	1657,6
10	5,15		1648	

20	9,59		3068,8	
20	7,29	10,5	2332,8	3348,8
20	11,34		3628,8	

Tabel L3.4.2 Konsentrasi Pb dalam batang Genjer

[Pb]awal (mg/L)	Konsentrasi Pb (mg/L)		Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)	
	Batang	Rata-rata	Batang	Rata-rata
5	0,64		204,8	
5	0,32	0,32	102,4	102,4
5	0,32		102,4	
10	0,45		144	
10	0,35	0,36	112	115,2
10	0,37		118,4	
20	0,49		156,8	
20	0,4	0,48	128	153,6
20	0,47		150,4	

Tabel L3.4.3 Konsentrasi Pb dalam batang Genjer

[Pb]awal (mg/L)	Konsentrasi Pb (mg/L)		Konsentrasi Pb (mg/Kg BK)	
	Daun	Rata-rata	Daun	Rata-rata
5	0,16		51,2	
5	0,16	0,16	51,2	51,2
5	0,21		67,2	
10	0,14		44,8	
10	0,6	0,14	192	43,2
10	0,13		41,6	
20	0,17		54,4	
20	0,13	0,14	41,6	43,2
20	0,14		44,8	

3.5 Penentuan Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Perhitungan nilai BCF didapat dari persamaan

$$\begin{aligned} \text{BCF} &= \frac{[\text{Pb tanaman (mg/Kg)}]}{[\text{Pb}]_{\text{awal (mg/L)}}} \\ &= \frac{400 \text{ mg/Kg}}{5 \text{ mg/L}} \\ &= 96 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai BCF pada tanaman Genjer disajikan pada Tabel L.3.5

Tabel L.3.5 Nilai BCF tiap bagian tanaman

[Pb] awal (mg/L)	BCF		
	Akar	Batang	Daun
5	96	40.96	10.24
5	116,48	20.48	10.24
5	126,72	20.48	13.44
10	166,72	14.4	4.48
10	169,92	11.2	19.2
10	164,8	11.84	4.16
20	153,44	7.84	2.72
20	116,64	6.4	2.08
20	181,44	7.52	2.24

3.6 Penentuan Konsentrasi Pb pada Biomassa Genjer pada Metode Kombinasi

Perhitungan konsentrasi pada tanaman Genjer adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{Pb}] &= \frac{[\text{Pb}] \text{ instrumen } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)} \times f_p}{m \text{ destruksi (Kg)}} \\ &= \frac{2,7 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,008 \text{ L} \times 10}{0,00025 \text{ Kg}} \\ &= 864 \text{ mg/Kg BK} \end{aligned}$$

Dengan persamaan yang sama maka diperoleh konsentrasi Pb dalam tanaman Genjer disajikan dalam Tabel L3.6.1 dan L3.6.2. Hasil rata-rata diperoleh dari dua kali pengulangan perlakuan yang ditandai dengan huruf tebal.

Tabel L3.6.1 Konsentrasi Pb dalam Genjer sistem *batch*

[Pb] (mg/L)	[Pb] (mg/L)	Rata-rata	[Pb] (mg/Kg BK)	Rata-rata
5	2,7		864	
5	2,11	2,23	675,2	713,6
5	2,35		752	
10	2,21		707,2	
10	2,65	2,865	848	916,8
10	3,08		985,6	
20	9,98		3193,6	
20	10,63	10,5	3401,6	3374,4
20	10,46		3347,2	

Tabel L3.6.2 Konsentrasi Pb dalam Genjer sistem kontinyu

[Pb] (mg/L)	[Pb] (mg/L)	Rata-rata	[Pb] (mg/Kg BK)	Rata-rata
5	2,71		867,2	
5	2,33	2,52	745,6	806,4
5	3,43		1097,6	
10	4,64		1484,8	
10	3,96	4,3	1267,2	1376
10	5,54		1772,8	
20	7,6		2432	
20	7,76	7,68	2483,2	2457,6
20	6,26		2003,2	

3.7 Penentuan Persentase Penurunan Logam Pb

$$\begin{aligned}
 \text{Persen terserap} &= \frac{[\text{Pb}] \text{ awal} - [\text{Pb}] \text{ akhir}}{[\text{Pb}] \text{ awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 3,01 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{[\text{Pb}] \text{ awal}} \times 100\% \\
 &= 39,80\%
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka diperoleh penurunan konsentrasi Pb dalam air disajikan dalam Tabel L3.7.1 - L3.7.3. Hasil rata-rata diperoleh dari dua kali pengulangan perlakuan yang ditandai dengan huruf tebal.

Tabel L.3.7.1 Persen penurunan logam Pb secara fitoremediasi

[Pb] awal (mg/L)	[Pb] sisa	Rata-rata	[Pb] terserap	Rata-rata	(%)	Rata-rata
5	3.01		1.99		39.8	
5	2.57	2.495	2.43	2.505	48.6	50.1
5	2.42		2.58		51.6	
10	3.35		6.65		66.5	
10	3.84	3.22	6.16	6.78	61.6	67.8
10	3.09		6.91		69.1	
20	8.77		11.23		56.15	
20	8.45	8.61	11.55	11.39	57.75	56.95
20	8.03		11.97		59.85	

Tabel L.3.7.2 Persen penurunan secara sistem *batch*

[Pb] (mg/L)	[Pb] sisa	Rata-rata	[Pb] terserap	Rata-rata	%	Rata-rata
5	0,91		4,09		82	
5	091	0,91	4,09	4,09	82	82
5	0,96		4,04		80,8	
10	0,86		9,14		91,4	
10	0,64	0,575	9,36	9,425	93,6	94,25
10	0,51		9,49		94,9	
20	1,04		18,96		94,8	
20	2,37	1,295	17,63	18,705	88,15	93,53
20	1,55		18,45		92,25	

Tabel L.3.7.3 Persen penurunan secara sistem kontinyu

[Pb] (mg/L)	[Pb] sisa	Rata-rata	[Pb] terserap	Rata-rata	%	Rata-rata
5	0,87		4,13		82,6	
5	0,99	0,93	4,01	4,07	80,2	81,4
5	0,36		4,64		92,8	
10	0,79		9,21		92,1	

10	0,61	0,65	9,39	9,35	93,9	93,5
10	0,69		9,31		93,1	
20	0,78		19,22		96,1	
20	0,62	0,635	19,38	19,365	96,9	96,825
20	0,65		19,35		96,75	

Tabel L.3.7.4 Perbandingan persen penurunan tiga metode

[Pb] (mg/L)	FS (%)	R	BS (%)	R	ZA (%)	R	KS (%)	R	ZA (%)	R
5	398		82		42,2		82,6		42,8	
5	48,6	50,1	82	82	33,4	31,3	80,2	81,4	31,6	42
5	51,6		80,8		29,2		92,8		41,2	
10	66,5		91,4		24,9		92,1	93,5	25,6	
10	61,6	67,8	93,6	94,3	32	25,4	93,9		32,3	24,8
10	69,1		94,9		25,8		93,1		24	
20	56,15		94,8		38,65		96,1		39,95	
20	57,75	57	88,15	93,5	30,4	31,4	96,9	96,8	39,15	39,55
20	59,85		92,25		32,4		96,75		36,9	

Keterangan: FS: Sistem Fitoremediasi
BS: Sistem *Batch*
KS: Sistem Kontinyu
ZA: Pengaruh penambahan zeolit alam
R : Rata-rata

Lampiran 4. Hasil Analisis *One Way* Anova (SPSS) dan Uji BNT Anova

4.1 Hasil Output Analisis *One Way* Anova Persentase Penurunan Logam Pb

Sistem *Batch*

Descriptives

Persen penurunan sistem *batch*

	N	Mean	Std, Deviation	Std, Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5 mg/L	3	81,6000	,69282	,40000	79,8789	83,3211	80,80	82,00
10 mg/L	3	93,3000	1,76918	1,02144	88,9051	97,6949	91,40	94,90
20 mg/L	3	91,7333	3,35497	1,93699	83,3991	100,0675	88,15	94,80
Total	9	88,8778	5,82838	1,94279	84,3977	93,3579	80,80	94,90

ANOVA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	242,029	2	121,014	24,421	,001
Within Groups	29,732	6	4,955		
Total	271,761	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Persen penurunan

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	5 mg/L	10 mg/L	-11,70000*	1,81756	,002	-17,2768	-6,1232
		20 mg/L	-10,13333*	1,81756	,003	-15,7101	-4,5566
	10 mg/L	5 mg/L	11,70000*	1,81756	,002	6,1232	17,2768
		20 mg/L	1,56667	1,81756	,682	-4,0101	7,1434
	20 mg/L	5 mg/L	10,13333*	1,81756	,003	4,5566	15,7101
		10 mg/L	-1,56667	1,81756	,682	-7,1434	4,0101
LSD	5 mg/L	10 mg/L	-11,70000*	1,81756	,001	-16,1474	-7,2526
		20 mg/L	-10,13333*	1,81756	,001	-14,5807	-5,6859
	10 mg/L	5 mg/L	11,70000*	1,81756	,001	7,2526	16,1474
		20 mg/L	1,56667	1,81756	,422	-2,8807	6,0141
	20 mg/L	5 mg/L	10,13333*	1,81756	,001	5,6859	14,5807
		10 mg/L	-1,56667	1,81756	,422	-6,0141	2,8807

*, The mean difference is significant at the 0,05 level,

Persen penurunan

	Konsentrasi Pb	N	Subset for alpha = 0,05	
			1	2
Tukey HSD ^a	5 mg/L	3	81,6000	
	20 mg/L	3		91,7333
	10 mg/L	3		93,3000
	Sig.		1,000	,682

Means for groups in homogeneous subsets are displayed,

a, Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000,

4,2 Hasil Output Analisis *One Way Anova* Persentase Penurunan Logam Pb Sistem Kontinyu

Descriptives

Persen penurunan sistem kontinyu

	N	Mean	Std, Deviation	Std, Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5 mg/L	3	85,2000	6,69029	3,86264	68,5804	101,8196	80,20	92,80
10 mg/L	3	93,0333	,90185	,52068	90,7930	95,2737	92,10	93,90
20 mg/L	3	96,5833	,42525	,24552	95,5270	97,6397	96,10	96,90
Total	9	91,6056	6,07302	2,02434	86,9374	96,2737	80,20	96,90

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig,
Between Groups	203,544	2	101,772	6,673	,030
Within Groups	91,508	6	15,251		
Total	295,052	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Persen penurunan

	(I) Konsentrasi Pb	(J) Konsentrasi Pb	Mean Difference (I-J)	Std, Error	Sig,	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	5 mg/L	10 mg/L	-7,83333	3,18867	,108	-17,6170	1,9504
		20 mg/L	-11,38333*	3,18867	,027	-21,1670	-1,5996
	10 mg/L	5 mg/L	7,83333	3,18867	,108	-1,9504	17,6170
		20 mg/L	-3,55000	3,18867	,541	-13,3337	6,2337
	20 mg/L	5 mg/L	11,38333*	3,18867	,027	1,5996	21,1670
		10 mg/L	3,55000	3,18867	,541	-6,2337	13,3337
LSD	5 mg/L	10 mg/L	-7,83333*	3,18867	,049	-15,6357	-,0309
		20 mg/L	-11,38333*	3,18867	,012	-19,1857	-3,5809

	10 mg/L	5 mg/L	7,83333*	3,18867	,049	,0309	15,6357
		20 mg/L	-3,55000	3,18867	,308	-11,3524	4,2524
	20 mg/L	5 mg/L	11,38333*	3,18867	,012	3,5809	19,1857
		10 mg/L	3,550000	3,18867	,308	-4,2524	11,3524

*, The mean difference is significant at the 0,05 level,

Persen penurunan

	Konsentrasi Pb	N	Subset for alpha = 0,05	
			1	2
Tukey HSD ^a	5 mg/L	3	85,2000	
	20 mg/L	3	93,0333	93,0333
	10 mg/L	3		96,5833
	Sig,		,108	,541

Means for groups in homogeneous subsets are displayed,

a, Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000,

Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



Lokasi pengambilan sampel genjer



Aklimatisasi sampel genjer



Proses aktivasi



Pengeringan zeolit alam



Perlakuan sistem *batch*



Perlakuan sistem kontinyu



fitoremediasi



Pengeringan sampel genjer



Serbuk genjer



Penyaringan sebelum sistem kontinyu



Hasil destruksi



Destruksi air



Microwave digestion



Instrumen AAS