

**FITOREMEDIASI ION LOGAM TIMBAL (II) MENGGUNAKAN
LIDAH MERTUA (*Sansevieria trifasciata* var.
Laurentii) PADA MEDIA AIR**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana
dalam Ilmu Kimia



Oleh : ELOK NURFAIZAH

NIM : 1708036003

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2024**

**FITOREMEDIASI ION LOGAM TIMBAL (II) MENGGUNAKAN
LIDAH MERTUA (*Sansevieria trifasciata* var.
Laurentii) PADA MEDIA AIR**

Skripsi

Oleh

ELOK NURFAIZAH

1708036003

Untuk Memenuhi Syarat Melaksanakan Skripsi

Strata Satu Progam Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2024

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Elok Nurfaizah
NIM : 1708036003
Program studi : Kimia

Menyatakan bahwa proposal yang berjudul:

**FITOREMEDIASI ION LOGAM TIMBAL (II) MENGGUNAKAN
LIDAH MERTUA (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*)
PADA MEDIA AIR**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk pada sumbernya.

Semarang, 4 April 2024

Pembuat Pernyataan



Elok Nurfaizah

NIM 1708036003

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini :

Judul : **Fitoremediasi Ion Logam Timbal (II) menggunakan Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*) pada Media Air**

Nama : Elok Nurfaizah

NIM : 1708036003

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam bidang ilmu kimia.

Semarang, 28 Juni 2024

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Sekretaris Sidang

Mulyatun, M.Si

198305042011012008

Zidni Azizati, M.Sc

199011172018012001

Penguji I

Penguji II

Dr. R.Arizal Firmansyah. S.Pd.,M.Si

197908192009121001

Kholidah, M.Sc

198508112019032008

Pembimbing I

Mulyatun, M.Si

198305042011012008

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2024

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr.Wb

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

Judul : **Fitoremediasi Ion Logam Timbal (II) menggunakan Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata var.laurentii*) pada Media Air**

Nama : Elok Nurfaizah

NIM : 1708036003

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. Wr.Wb

Dosen Pembimbing



Mulyatun, M.Si

198305042011012008

ABSTRAK

Logam Timbal merupakan logam berat yang biasa digunakan dalam proses pembuatan berbagai produk bahan sehari-hari, yang bersifat berbahaya dan dapat membahayakan kesehatan manusia. Metode untuk menurunkan kandungan logam dengan menggunakan tanaman fitoremediasi. Tanaman yang digunakan adalah lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*). Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu fitoremediasi terhadap jumlah Pb (Timbal) yang teradsorpsi pada akar tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*). Penelitian ini menggunakan media tanam aquades sebagai kontrol (hari ke-0) dan Pb dengan konsentrasi 10 ppm, pada reaktor hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15. Sampel yang dianalisis pada tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*) bagian rambut akar selama hari ke-0, hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15. Pengujian logam timbal menggunakan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)*. Hasil penelitian menunjukkan akumulasi logam berat Pb terbaik, pada hari ke-15 sebesar 1,46 %. *Sansevieria trifasciata var. laurentii* toleran terhadap Pb dan berguna untuk fitoremediasi tanah yang terkontaminasi timbal dalam mekanisme *Rhizofiltration*.

Kata kunci: Logam timbal, fitoremediasi, lidah mertua

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'Alamin segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan sebaik-baiknya yang berjudul: Fitoremediasi Ion Logam Timbal (II) menggunakan Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata var.laurentii*) pada Media Air. Tidak lupa penulis sampaikan sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW dengan harapan semoga mendapat syafaat kelak di hari kiamat.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, tidak lupa juga pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Nizar, M.Ag, selaku Rektor UIN Walisongo Semarang
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
3. Mulyatun, M.Si, selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas

Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo
Semarang

4. Dyah Fitasari, M.Si, dan Mulyatun, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, serta arahan kepada penulis hingga akhir.
5. Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd., selaku dosen wali yang selalu memberi pengarahan dan nasehat kepada penulis.
6. Kholidah, M. Sc yang telah membantu dalam penelitian ini.
7. Seluruh dosen jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah membekali serta memberikan ilmu pengetahuan dan informasi kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
8. Kedua orang tua penulis tercinta, Abah Haryono dan ibu Sholikhah yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan baik moril maupun materil yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dengan lancar.
9. Saudara terbaik penulis, dek Kharisma Umi Fadhilah dan dek Habibatul Khumairah yang telah memberi dukungan, do'a dan semangat kepada penulis.
10. Teruntuk partner penelitian Ninik Indah, Arie Zayyin, dan Nesty Alfiana yang telah memberikan semangat, saling bertukar pikiran, dan bisa diandalkan
11. Teman-temanku Mbak Isna P, Dhea Putri, Dhea Sabela, Yuli Indriastuti. Terima kasih telah menemani, membantu, menghibur, dan menyemangati untuk menyelesaikan skripsi
12. Teman-teman jurusan Kimia angkatan 2017 yang telah

memberikan motivasi,doa, dan memberikan pelajaran hidup yang cukup

- 13.Aa Asep Saepuloh yang selalu memberi support serta sabar menunggu penulis hingga menyelesaikan studinya
- 14.Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga tugas akhir terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi sesama dan mendapat ridho-Nya.

Aamiin yaa Robbal Aalamiin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan.....	5
D. Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Limbah.....	7
B. Logam Berat.....	10
C. Timbal (Pb).....	16
D. Fitoremediasi.....	22
E. Lidah Mertua (<i>Sansevieria trifasciata</i> var. <i>laurentii</i>)	33
F. <i>Scanning Electron Microscope</i> <i>Energy Dispersive X-Ray</i> <i>Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	50
G. Kajian Pustaka.....	60
H. Hipotesis	62
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	63
A. Alat dan Bahan.....	63
1. Alat.....	63
2. Bahan.....	63
B. Prosedur Penelitian.....	63
1. Preparasi tanaman.....	63
2. Pembuatan larutan timbal.....	63
3. Penyiapan media tanam.....	64
4. Perlakuan.....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65

A. Preparasi Tanaman.....	65
B. Penyiapan Media Tanam.....	66
C. Proses fitoremediasi.....	66
BAB V PENUTUP	78
A. Kesimpulan.....	78
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	85
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Timbal	17
Gambar 2.2 Proses rizofiltrasi, fitotransformasi dan fitovolatilisasi	32
Gambar 2.3 Organ Tanaman <i>Sansevieria trifasciata</i> L.wild...	35
Gambar 2.4 <i>Sansevieria trifasciata</i> L	39
Gambar 2.5 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Bentel's Sensation</i>	40
Gambar 2.6 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Laurentii</i>	41
Gambar 2.7 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Laurentii Compacta</i> .	41
Gambar 2.8 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Futura</i>	42
Gambar 2.9 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Hahnii</i>	43
Gambar 2.10 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Golden Hahnii</i>	43
Gambar 2.11 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Moonshine</i>	44
Gambar 2.12 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Nelsonii</i>	45
Gambar 2.13 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Robusta</i>	45
Gambar 2.14 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Silver Hahnii</i>	46
Gambar 2.15 <i>Sansevieria trifasciata</i> var <i>Silver Queen</i>	46
Gambar 2.16 Perbandingan persebaran konsentrasi Pb antara daun dan akar tanaman lidah mertua... 50	
Gambar 2.17 Blok diagram SEM	51
Gambar 2.18 Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM.....	53
Gambar 2.19 Proses terbentuknya BSE.....	54
Gambar 2.20 Proses pembentukan SE dan X-ray	55
Gambar 2.21 Rangkaian instrumen SEM EDX	57
Gambar 2.22 Pemindaian mikroskop elektron dari akar yang diberi Pb 100 µM menunjukkan area pemetaan.....	58
Gambar 4.1 Hasil SEM akar lidah mertua pada tegangan akselerasi 10 kV dengan perbesaran 1000x....	68
Gambar 4.2 Hasil karakteristik menggunakan EDX.....	71
Gambar 4.3 Mapping EDX sampel akar	73
Gambar 4.4 Perubahan warna daun lidah mertua sebelum dan sesudah fitoremediasi.....	76
Gambar 4.5 Mekanisme senyawa metabolik sekunder Dengan Pb ²⁺	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik logam timbal.....	16
Tabel 2.2	Efek timbal terhadap kesehatan.....	22
Tabel 2.3	Kandungan tanaman <i>Sansieveria</i> secara umum.....	37
Tabel 4.1	Ukuran ketinggian daun yang digunakan.....	65
Tabel 4.2	Komposisi hasil EDX sampel akar lidah mertua (<i>Sansevieria trifasciata</i> var. <i>laurentii</i>)	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema Prosedur Kerja.....	85
Lampiran 2	Diagram alir prosedur kerja.....	86
Lampiran 3	Analisis data.....	90
Lampiran 4	Hasil EDX.....	91
Lampiran 5	Dokumentasi Percobaan.....	93

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Pengembangan kawasan pabrik di tanah air harus didukung oleh pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Perkembangan pertumbuhan industri yang pesat diiringi dengan banyaknya limbah yang dihasilkan akan memberikan efek negatif yang berupa pencemaran baik air, darat dan udara (Rukaesih, 2004).

Pencemaran disebabkan oleh tindakan manusia, baik secara perseorangan maupun gabungan. Peristiwa ini dijelaskan dalam QS. Ar Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ

الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya

"Telah nampak kerusakan di darat dan di lautan disebabkan karena perbuatan tangan (maksiat) manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)" (QS.Ar Rum 41)

Allah berfirman dalam surat Ar Rum ayat 41 bahwasanya tindakan kemungkarannya adalah pusat "kehancuran" yang sebetulnya menjadi pusat pokok kehancuran yang terlihat di

bumi (Shihab, 2002). Hasilnya keseimbangan lingkungan menjadi kacau. Teguran Allah pada penggalan surat Ar rum cukup tegas. Bagi yang tidak cakap dalam menjalankan perintah Allah sesuai dengan ketentuan-Nya, Allah akan memberikan musibah (Anisa, 2021).

Limbah B3 yang mengandung logam berat berbahaya bagi lingkungan karena bersifat toksik. Salah satu jenis logam berat yang sering dijumpai adalah timbal (Pb) (Nindyapuspa, 2017). Timbal (Pb) merupakan logam berat yang sangat berbahaya serta memiliki sifat terakumulasi. Industri yang berkemampuan menghasilkan timbal adalah industri yang salah satunya terdapat komponen produksi timbal, seperti kertas, pupuk, kilang minyak, baja dll (Supriharyono, 2002). Secara alamiah, Pb bisa terlarut dalam ekosistem air pada kapasitas 0,00199 mg/L-0,0099 mg/L. Industri yang menggunakan timbal, seperti kertas, baja, kilang minyak, dan pupuk (Wijana, 2014).

Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan menjelaskan timbal masuk dalam kategori sifat toksik tinggi. Timbal terperangkap oleh eritrosit akan didistribusikan ke seluruh tubuh. Distribusi awal Pb terjadi pada jaringan lunak seperti otot, kemudian terakumulasi di tulang, gigi, dan rambut. Dampak cara pelapisan kertas timbal ataupun cat dengan kandungan timbal tinggi diprediksi memicu gangguan perkembangan mental anak-anak (Rukaesih,

2004).

Beberapa metode untuk pengolahan limbah cair antara lain elektrokoagulasi, fitoremediasi, dan adsorpsi. Penelitian ini menggunakan fitoremediasi dikarenakan fitoremediasi ramah lingkungan, sehingga tidak menambah bahan pencemar (Moosavi, 2013); dapat mengurangi jumlah kontaminan pada udara, tanah, dan air (Abubakar, 2017); lebih mudah diterapkan daripada metode lain (Widyati, 2009).

Pemilihan spesies tanaman yang tepat untuk fitoremediasi memainkan peran penting dalam pengembangan metode remediasi (Jenny, 2015); jenis kontaminasi; dan karakteristik media tanam (Sulistya, 2024). Idealnya, ciri-ciri tertentu harus ada pada tanaman untuk fitoremediasi yang efektif: toleransi terhadap kontaminan, kemampuan untuk tumbuh di tanah yang buruk, tumbuh cepat di alam dengan produksi biomassa tinggi, sistem perakaran yang dalam dan padat, dan merupakan tanaman asli dari suatu tanaman. Selain itu, strategi fitoremediasi yang paling penting adalah pemilihan tanaman lokal. Jika memilih tanaman lokal untuk fitoremediasi, maka bisa mendapatkan keuntungan dengan menghindari risiko ekologis dan menjadi tanaman lokal. Tanaman tersebut akan beradaptasi dengan baik terhadap pemicu stres biotik dan abiotik di lokasi serta dapat

memfasilitasi restorasi habitat (Pandey, 2019). Faktor lain akumulasi logam berat di akar tanaman disebabkan oleh jumlah zat khelat yang lebih dominan pada akar serta akar yang dimiliki tanaman lidah mertua tergolong dalam akar serabut berbentuk rambut-rambut kecil yang membantu sejumlah logam berat diserap ke dalam akar (Rompegading, 2021). Jaringan akar berinteraksi langsung dengan tanah (media) yang tercemar timbal, sehingga konsentrasi timbal pada akar lebih tinggi daripada di batang dan daun (Ratnawati, 2018).

Tanaman *sansevieria Box-burghiana* dapat digunakan sebagai fitoremediator *zink* dengan ekstrak bawang putih dan daun ketumbar sebagai pengkelat logam. Konsentrasi awal Zn dalam akar 65 mg/kg^{-1} , berubah menjadi 423 mg/kg^{-1} dalam durasi 6 minggu (Mirjankar, 2021). Lidah mertua (*Sansevieria trifasciata P.*) menyerap logam merkuri (Hg) selama penanaman 28 hari secara berurutan tanpa pemberian bahan organik, kompos dan biochar $2,27 \text{ g/mL}$; $6,15 \text{ g/mL}$ dan $2,45 \text{ g/mL}$ (Dwiflorenti, 2021). Lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) mengakumulasi Cr relatif lebih tinggi di atas permukaan tanah (Sehrawat, 2021). Akumulasi logam berat Pb, Zn, dan Cu pada jenis dua tanaman *Sansevieria trifasciata*, yaitu jenis kultivar NN dan *African Dawn*. *Sansivieria african dawn* dapat menyerap logam berat yang lebih banyak dengan nilai MAI (*Metal Accumulation Index*)

9,572 dibandingkan *Sansevieria trifasciata* NN dengan nilai 7,502 (Putra, 2018).

Pengaruh durasi yang lebih lama mampu memperbesar kinerja tanaman dan mempengaruhi tingkat dalam menyerap logam berat dari limbah cair (Oktavia, 2016). Tanaman lidah mertua salah satu tumbuhan hiperakumulator yang bisa memulihkan tanah setelah terkontaminasi timbal. Tanaman ini mempunyai kesanggupan menyerap konsentrasi Pb sebesar 70,50%. (Ratnawati, 2018). Penelitian ini akan dilakukan fitoremediasi dengan media air yang mengandung Pb (timbal). Teknik analisa yang dipakai untuk menilai efektivitas penyerapan atau pengikatan logam timbal pada akar lidah mertua ini menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*).

B. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh waktu fitoremediasi terhadap jumlah Pb^{2+} yang teradsorpsi pada akar tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*)

C. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu fitoremediasi terhadap jumlah Pb^{2+} yang teradsorpsi pada akar tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*)

D. Manfaat

Penelitian ini dilakukan dengan harapan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman lidah mertua dapat diaplikasikan oleh masyarakat dalam mendorong pengurangan dampak polutan timbal, sehingga menghasilkan kualitas air dan kelestarian lingkungan yang lebih bersih.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah

Limbah muncul dari aktivitas manusia yang tidak berwawasan lingkungan, padahal manusia tidak bisa lepas dari lingkungan. Keadaan kualitas lingkungan mempunyai dampak yang besar terhadap kehidupan manusia. Kualitas lingkungan harus segera diatasi, jika tidak akan menimbulkan dampak serius (Larasati, 2022).

Kegiatan yang berwawasan lingkungan mempertimbangkan keseimbangan lingkungan hidup dan mengutamakan kebutuhan manusia, namun juga memperhatikan keberlangsungan faktor lingkungan hidup lainnya sekaligus menunjang aktivitas manusia. Kegiatan tidak berwawasan lingkungan antara lain timbunan sampah. Sampah yang tidak ditangani dengan sesuai bisa memunculkan berbagai polemik lingkungan seperti pencemaran dan banjir (Endang, 2018).

Manusia setiap hari menghasilkan sampah dan kita tidak bisa lari dari sampah, oleh karena itu perlu meminimalisir sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Limbah dihasilkan dalam skala besar seperti industri tekstil dan kayu lapis, namun juga dalam aktivitas seperti penggunaan sabun cuci dan plastik makanan. Jumlah

penduduk bumi yang banyak bahkan mencapai miliaran, mengakibatkan limbah dalam jumlah yang sangat besar.

Sampah, menurut UU Nomor 18 Tahun 2008, adalah akibat dari proses alam serta residu-residu padatan yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Mewabahnya berbagai penyakit, banjir, bau yang tidak sedap, penampakan yang tidak sedap dipandang, kerusakan kesehatan lingkungan, dan meningkatnya pemanasan global hanyalah sebagian dari sekian banyak kerugian yang diakibatkan oleh pengelolaan sampah yang tidak tepat dan tidak efektif (Sigit, 2021).

Penyelenggaraan pembangunan di Indonesia didukung oleh peraturan perundang-undangan di berbagai sektor seperti industri, kehutanan, pertambangan, pertanian, jaringan air, dan lain-lain, dengan memperhatikan prinsip pemanfaatan SDA secara bijak. Namun masih banyak permasalahan kerusakan yang tersisa dalam perealisasiannya. UU no 23 Tahun 1997 mengenai perlindungan alam pada hakikatnya mengatur serta menegakkan perlindungan sumber daya alam. Misalnya memastikan atmosfer, tanah, air, pantai dan lautan, keanekaragaman hayati, lingkungan pedesaan, perkotaan, dan sosial tidak rusak (Abdul, 2018).

Tingkat bahaya limbah bergantung pada sifatnya. Berikut ini sifat limbah:

1. *Microsize* atau ukuran kecil.
2. Fleksibel maknanya limbah tidak berhenti di satu tempat, namun senantiasa termobilisasi dan berubah sesuai dengan kondisi lingkungan.
3. Penyebaran efek besar, maknanya lingkungan yang tertimpa efek sampah dipengaruhi oleh unsur lain.
4. Efek periode panjang maknanya permasalahan sampah tidak bisa diselesaikan dalam jangka pendek. Efek akan bertahan hingga anak cucu mendatang (Habibi, 2018).

Limbah berdasarkan senyawanya digolongkan menjadi tiga golongan yakni *organic waste*, *inorganic waste*, dan *B3 waste*. *Organic waste* merupakan limbah yang mengandung campuran karbon dari organisme, semacam feses fauna dan buah busuk. *Inorganic waste* merupakan limbah yang amat sukar untuk terpecah seperti cermin dan plastik. *B3 waste* merupakan bekas suatu aktivitas yang berisi materi berbahaya atau beracun, sebab karakter; konsentrasi; dosisnya mampu merusak, mengotori, mematikan kehidupan makhluk hidup (Machdar, 2018).

Limbah secara umum dibedakan menjadi tiga kategori, yakni limbah yang berwujud liquid, limbah yang berwujud solid dan limbah yang berwujud gas. Buangan ini biasanya dibuang ke lingkungan. Lingkungan bisa generalisir, jika

limbah ini, apabila lebih rendah dari Nilai Ambang Batas (NAB), namun jika limbah tersebut melebihi NAB yang diperbolehkan maka berbahaya bagi lingkungan termasuk manusia (Rahmadi, 2022).

Mencegah pencemaran lingkungan yang diakibatkan karena kegiatan pabrik serta kegiatan insan, penanggulangan kontaminasi lingkungan dilakukan dengan menerapkan baku mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan didefinisikan sebagai batasan kadar zat atau bahan yang dapat mencemari lingkungan tanpa mengganggu makhluk hidup, tumbuhan, atau benda lain karena limbah berdampak negatif terhadap kesehatan daerah. Dampak limbah pada kesehatan termasuk penyebab diare (Muhamad, 2016).

Air limbah mempunyai berbagai dampak terhadap kesehatan individu. Sistem kekebalan tubuh, jenis limbah, jumlah dosis yang diserap ke dalam tubuh, akumulasi dosis, sifat toksik limbah yang mudah dicerna, waktu kontak dengan limbah, dan alergi limbah adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi dampak kesehatan limbah (Kodoatie, 2010).

B. Logam Berat

Logam berat merupakan golongan unsur heterogen yang fungsi dan sifat kimianya bervariasi. Logam berat sebagian besar termasuk dalam unsur transisi dalam tabel

periodik. Logam berat adalah unsur yang mempunyai kerapatan lebih dari $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Logam yang setidaknya 5 kali lebih padat dari air juga didefinisikan sebagai logam berat (Kiran, 2021).

Sudut pandang toksikologi mengungkapkan, logam berat dapat berupa logam esensial (Mo, Mn Cu, Ni, Fe, Zn) maupun logam non esensial (Cd, Ni, As, Hg, Pb). Logam esensial menjaga metabolisme tubuh manusia seperti Cu sangat penting untuk pembentukan hemoglobin, metabolisme karbohidrat tetapi jika berlebihan akan menyebabkan kerusakan sel. Demikian pula banyak logam berat juga penting bagi tanaman karena mereka bertindak sebagai kofaktor, mengaktifkan reaksi enzim dan menunjukkan keuletan, konduktivitas dan memberikan stabilitas kation. Namun, logam-logam ini hadir dalam jumlah melebihi konsentrasi yang dibutuhkan, sehingga menunjukkan toksisitas. Defisiensi logam berat esensial mempengaruhi kesehatan manusia dan produktivitas pertanian. Logam non-esensial menunjukkan efek toksik bahkan pada konsentrasi rendah. Logam ini tidak dimetabolisme menjadi senyawa antara lainnya atau terurai di lingkungan, karena penerapan atau peristiwa industri, rumah tangga, pertanian, pengobatan, teknologi, atau kejadian seperti ledakan gunung berapi dan pelapukan batuan, pelepasan logam berat ke dalam ekosistem. Logam

berbahaya, tidak dapat terbiodegradasi, dan berada di lingkungan dalam jangka waktu lama. Hal ini menimbulkan dampak buruk terhadap tumbuhan, manusia, dan hewan hingga menjadi polutan dan menjadi masalah yang paling signifikan. Logam berat dalam ekosistem membentuk rantai kontaminasi secara siklik-industri, atmosfer, tanah, air, makanan dan manusia (Kiran,2021).

Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor 02/MENKLH/I/1988 yang dimaksud dengan polusi atau pencemaran air dan udara adalah masuk dan dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, komponen lain ke dalam air atau udara dan berubahnya tatanan (komposisi) air udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas air atau udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air atau udara menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Supriadi, 2016). Sumber bahan pencemar logam berat menjadi tiga yaitu sebagai berikut:

1. Alam: Logam berat bisa ditemukan secara alamiah pada batu alam, hasil Presipitasi, dan angin. Timbal (Pb) dapat ditemukan secara alamiah pada batu alam dengan konsentrasi bekisar 13 mg/kg, dan Merkuri (Hg) dapat ditemukan secara alami dalam solfatara dan evaporasi (Supriadi, 2016).

2. Industri: Penghasil logam berat merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan terbesar. Misalnya, ada beberapa industri yang menggunakan timbal (Pb) menjadi materi utamanya, contohnya industri pengecoran yang membentuk timbal konsentrat (*primer lead*) dan timbal sekunder (*secondary lead*) yang bersumber dari bagian logam; industri baterai yang menghasilkan banyak timbal, terlebih *lead antimony alloy* timbal dan *lead oxides*; dan industri kabel yang mengakibatkan terbentuknya arsenik, kadmium, besi, kromium, emas dll (Supriadi, 2016).
3. Kendaraan: Pb merupakan suatu materi pelengkap pada bahan bakar transportasi motor, yang menghasilkan emisi Pb in organik. Logam berat Pb yang tercampur dalam bahan bakar larut bersama oli dan dikeluarkan dari knalpot seiring dengan gas buang lainnya melalui proses di dalam mesin (Supriadi, 2016).

Sumber bahan polutan yang bersarang di ekosistem air bisa bermula dari buangan yang dikategorikan:

1. *Point source discharges* (sumber titik), yaitu sumber titik atau sumber polutan yang diketahui, dapat berupa lokasi seperti saluran pembuangan, saluran air industri, dan rumah tangga. Air limbah merupakan sisa cair suatu usaha dan aktivitas (PP No.82 Tahun 2001).

2. *Non point source* (sebaran menyebar), berasal dari sumber yang tidak diketahui secara jelas. Polutan memasuki badan air melalui limpasan dari daerah pemukiman, pertanian, dan perkotaan.

Meningkatnya nilai kandungan logam berat dalam perairan biasanya dikarenakan terserapnya beragam jenis limbah, seperti limbah batu bara, limbah pabrik, limbah persawahan, limbah domestik yang banyak mengandung logam berat. Dengan bertambahnya jumlah logam berat di dalam air, logam-logam yang biasanya diperlukan untuk pertumbuhan makhluk hidup menjadi beracun, dan makhluk hidup yang hidup di dalam air dapat musnah (Supriadi, 2016).

Logam timbal terdapat di badan air melalui aktivitas alam dan manusia. Logam ini terserap ke badan air melewati kristalisasi timbal di udara dengan didukung air hujan. Selain itu, reaksi degradasi logam pada hasil pertambangan juga menjadi salah satu jalan bertemunya sumber timbal dengan badan air (Herdyastuti, 2017).

Daur biogeokimia logam berat mampu diperlaju oleh aktivitas manusia. Pengumpulan dan dinamika ion logam mampu mengganti suasana lingkungan. Penyebab lainnya seperti terganggunya susunan dan peran ekosistem (Fedotov, 2008). Logam berat terserap melewati dua tahap alami yakni antropogenik serta agroekosistem.

Agroekosistem adalah lahan dimana masyarakat menanam berbagai jenis tanaman budi daya yang digunakan untuk pangan dan industri. Selain tumbuhan budi daya, ekosistem ini juga mengandung berbagai macam tumbuhan liar, hewan, jamur, dan mikroorganisme yang masih hidup.

Agroekosistem sebagai faktor yang dimiliki biosfer dan antroposfer mewakili tidak hanya sumber energi dan zat yang penting, daripada penerima utama dari banyak polutan limbah residu. Dari kualitas higienis tanah tergantung pada kelestarian habitat flora dan fauna, kualitas air tanah dan air permukaan, kesejahteraan hewan domestik, serta kesehatan populasi manusia.

Zat yang berpotensi merusak ekosistem alami tanah, air dan udara disebut zat berbahaya. Racun berbahaya yang paling umum pada agroekosistem adalah logam berat, radionuklida, pestisida, dan zat organik sintetik. Hal ini karena peningkatan konsentrasi zat beracun di tanah dan air menyebabkan akumulasi zat beracun tersebut dalam rantai makanan. Racun memiliki dampak toksikologi yang kecil, sementara yang lain sangat toksik dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan (Novakovic, 2015).

Sumber antropogenik meliputi masuknya logam berat melewati penggunaan pupuk, bahan organik, sumber industri, dll. Tahap ini menghasilkan berbagai kontribusi logam berat terhadap agroekosistem. Beberapa tanah

ditemukan mengandung logam berat yang beracun bagi tanaman, karena unsur-unsur ini adalah pembawa utama, jumlahnya sangat tinggi (Krishna, 1995).

C. Timbal (Pb)

Timbal atau plumbum yakni unsur dengan bernomor atom 82, titik didih 1749 °C dan titik leleh 327,46 °C dan masuk pada kategori logam berat golongan IVA di tabel periodik unsur. Timbal (Pb) terdapat secara alami dalam bentuk batuan galena (PbS), sensite (PbCO₃), dan alglesit (PbSO₄) (Ardyanto, 2005). Adapun sifat kimia dan sifat fisika logam timbal dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik logam Timbal

Sifat Kimia	Sifat Fisika
- Warna abu-abu kebiruan mengkilat - Nomor atom 82 dengan berat atom 207,20 - Titik lebur 327,46°C, titik didih 1749°C dan berat jenis 11,4 g/ml	- Bilangan oksidasi +2 - Menguap pada 500-600°C dan dapat menghasilkan oksigen di atmosfer dalam bentuk timbal oksida (PbO).

Sumber :(Putri, 2020)

Timbal ada dalam bentuk partikel bubuk berwarna abu-abu tua, sering disebut sebagai debu logam. Timbal memiliki titik uap yang kecil. Timbal juga mampu menstabilkan senyawa lain sehingga sering digunakan pada produk industri seperti kertas, pupuk,

dan baja (Wijana, 2014). Adapun gambar logam timbal dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Logam Timbal

Faktanya dibalik penggunaan timbal dalam industri dan transportasi, timbal (Pb) merupakan kontaminan berbahaya. Tubuh manusia tidak membutuhkan timbal. Oleh karena itu, jika makanan terkontaminasi timbal, badan akan mengeluarkan separuh logam tersebut serta sisanya tertimbun di dalam badan (Haryanti, 2020). Berikut ini cara toksisitas timbal (Pb) pada tubuh manusia :

1. Absorpsi

Timbal dan senyawanya terserap ke dalam badan melewati inhalasi dan ingesti. Timbal diserap melewati kulit sekedar dalam bentuk organik. Timbal masuk ke saluran pernapasan melalui inhalasi. Partikel $< 10 \mu\text{m}$ dapat tersumbat di paru-paru, sedangkan partikel yang $> 10 \mu\text{m}$ mengendap di saluran pernapasan sebelah atas (Husna, 2020).

Penyerapan timbal melalui saluran cerna biasanya terjadi bila timbal terserap ke dalam badan melalui rokok, pangan, dan minuman yang tertelan dari tangan yang tercemar timbal. Hal yang sama juga berlaku jika mengonsumsi pangan yang tercemar debu di jalan. Kurang dari 5-10% timbal yang termakan diserap melewati selaput lendir saluran pencernaan (Husna, 2020).

2. Distribusi

Timbal yang diabsorpsi diangkut oleh darah ke organ tubuh. 95% timbal akan diikat oleh eritrosit dalam darah, 90% diikat oleh tulang, sisanya terdeposit dalam jaringan lunak (hati, saraf, dan ginjal). Waktu tinggal timbal dalam darah yaitu 35 hari, pada jaringan lunak selama 40 hari, tulang trabekular selama 3-4 tahun, dan komponen kortikal tulang selama 16-20 tahun (Husna, 2020).

3. Ekskresi

Timbal dikeluarkan dari saluran pencernaan dalam bentuk feses, dari saluran ekskresi dalam bentuk urin, serta melalui keringat dan rambut. 75-80% timbal diekskresikan melalui urin, tetapi hanya 15% yang diekskresikan melalui feses. Ekskresi timbal melewati saluran cerna dipengaruhi oleh saluran aktif kelenjar saliva, saluran pasif kelenjar saliva, pankreas, kelenjar

yang terletak di dinding usus, regenerasi sel epitel dan ekskresi empedu. Di sisi lain, filtrasi glomerulus memengaruhi ekskresi timbal melalui saluran ginjal (Husna, 2020).

Keracunan timbal merupakan senyawa beracun dan dampak paparan timbal dapat terjadi tanpa tanda yang jelas. Dampak paparan bersifat kronis, sehingga dosis kumulatif meningkat secara bertahap seiring dengan lamanya waktu paparan. Paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah pada berbagai sistem organ, termasuk darah, sistem saraf, ginjal, sistem reproduksi, dan saluran pencernaan. Efek dari peningkatan kadar timbal dalam darah biasanya mencakup peningkatan risiko tekanan darah tinggi, penyakit ginjal, gangguan kognitif yang cepat, dan risiko reproduksi (Husna, 2020).

Dampak timbal terhadap kesehatan dapat mempengaruhi banyak hal, diantaranya penurunan *intelligence Quotient* (IQ), *encephalopathy*, hipertensi, gangguan sistem saraf pusat dan sistem hematopoetik. Adapun gangguan sistem hematopoetik yang dapat diakibatkan jika terpapar timbal melebihi Nilai Ambang Batas yang telah ditetapkan yaitu gangguan pada pembentukan hemoglobin. Hemoglobin memegang peran penting dalam transportasi oksigen dan karbon dioksida dalam tubuh (Husna, 2020).

Dampak keracunan timbal dapat menyebabkan kerusakan otak. Penyakit otak akibat keracunan timbal, seperti epilepsi, halusinasi, dan kerusakan otak. Selain itu, efek paparan timbal yang paling sering diamati pada sistem hematopoietik adalah hematopoiesis. Keracunan timbal dapat mempengaruhi proses sintesis hemoglobin. Senyawa timbal yang ada di dalam tubuh berikatan dengan gugus aktif enzim ALAD (*Amino Levulinic Acid Dehidrase*). Enzim ALAD merupakan salah satu jenis enzim sitosol yang aktif bereaksi pada tahap awal sintesis dan selama sirkulasi sel darah merah (Husna, 2020).

Dampak lain dari paparan timbal adalah dapat menimbulkan efek toksik pada sistem pencernaan, ginjal, dan saraf. Efek gastrointestinal yang paling umum adalah kolik usus. Pada sistem saraf, efek timbal dapat menyebabkan gangguan seperti perilaku melambat, daya ingat buruk, konsentrasi buruk, depresi, sakit kepala, gemetar, kejang, dan penurunan kecerdasan (Husna, 2020).

Salah satu organ yang terkena dampak paparan timbal adalah ginjal, yang merupakan pusat sistem ekskresi. Timbal yang larut dalam darah memasuki sistem urinaria (ginjal) dan merusak saluran ginjal. Selain itu, paparan timbal dapat mengganggu sistem reproduksi. Pekerja laki-laki yang terpapar timbal menunjukkan penurunan fungsi kelenjar prostat ketika kadar timbal dalam darah 40-50 g/dL.

Paparan di tempat kerja pada tingkat timbal yang tinggi dapat menyebabkan keguguran pada wanita hamil. Abnormalitas pada sel sperma juga merupakan dampak terhadap paparan Pb dalam tubuh (Husna, 2020).

Keracunan yang disebabkan oleh adanya logam timbal dalam tubuh mempengaruhi banyak jaringan dan organ. Sistem saraf, ginjal, dan sistem reproduksi adalah organ yang paling sering terkena dampak keracunan. Meskipun tubuh menyerap sedikit Pb, itu tetap sangat berbahaya. Pasalnya, senyawa timbal bisa memberikan dampak toksik pada peran bagian badan (Husna, 2020). Tidak semua timbal yang terhirup atau tertelan tetap berada di dalam tubuh. Tergantung pada ukuran partikel dalam minuman, sekitar 5-10% dari jumlah yang tertelan diserap melalui saluran pencernaan, dan sekitar 30% dari jumlah yang dihirup melalui hidung diserap melalui saluran pernapasan dan tetap berada di dalam tubuh (Hardinawati, 2017).

Batas normal kadar timbal yang masih dapat ditoleransi tubuh berkisar antara 0,1 - 0,3 mg per hari. Jika lebih dari 0,6 mg/hari masuk ke dalam tubuh, keracunan timbal dapat terjadi dan berujung pada kematian. Adapun efek timbal dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Efek timbal pada kesehatan

Kadar timbal (g/dl)	Efek kesehatan	
	Anak	Dewasa
0 –10	• Penurunan kecerdasan	-
10 –30	• Gangguan metabolisme vitamin D	• Gangguan tekanan darah sistolik, kelainan protoporfirin sel darah merah
30 -50	• Gangguan sintesis hemoglobin	• Gangguan susunan saraf pusat, penyakit ginjal, gangguan reproduksi (pria)
50-100	• Anemia, penyakit ginjal, gangguan otak dan susunan saraf pusat • Kematian	• Anemia, gangguan sintesis hemoglobin • Kematian

Sumber : (Putri, 2020)

D. Fitoremediasi

Fitoremediasi terdiri dari kata *fito* (tanaman) dan *remedium* (pembuangan). Fitoremediasi adalah salah satu teknologi pengganti yang mampu diterapkan guna menurunkan jumlah, mobilitas, dan toksisitas polutan (Bintan, 2020). EPA mengungkapkan fitoremediasi merupakan tahap pengurangan pencemar kimia di dalam tanah melalui akar tanaman”. Demikian pula USGS (2011) yang menerangkan definisi fitoremediasi sebagai “pemanfaatan tumbuhan guna meremediasi pencemar melalui asupan air yang terkontaminasi (proses transpirasi)

oleh tanaman”. Fitoremediasi juga menarik, terutama bila dibandingkan dengan metode tradisional lainnya dalam mengatasi masalah polusi, seperti:

1. Biaya operasional umumnya lebih sederhana dan lebih ekonomis. Proses ini dapat mengirit anggaran sampai 75% daripada proses tradisional, saat menurunkan limbah. Metode ini menggunakan alat relatif murah dan tidak memerlukan menggunakan keahlian khusus.
2. Perkembangan tanaman dapat dipantau secara efektif. Dapat diaplikasikan secara in-situ/ex-situ. Penerapan konservasi di habitatnya dapat mengurangi nilai kendala pada tanah daripada menggunakan proses tradisional. Penerapan ini mengurangi tebaran pencemar yang melewati air dan udara.
3. Potensi pemanfaatan kembali polutan penting seperti emas (*phytomining*).
4. Teknik remediasi yang paling aman untuk alam karena menggunakan tumbuhan. Ramah lingkungan dan menambah keindahan
5. Mempertahankan kondisi alam (Herniwanti, 2021).
6. Mengurangi toksisitas logam berat dalam dosis yang banyak dan jauh lebih cepat tanpa mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman (Widyasari, 2021).
7. Dapat menyerap berbagai senyawa organik

Fitoremediasi memiliki banyak keunggulan tetapi memiliki beberapa kekurangan, seperti di bawah ini :

1. Terbatas pada panjang pendeknya akar tanaman remediatif, khususnya tanaman air.
2. Proses pembersihan lingkungan berjalan lambat, terkadang memakan waktu beberapa tahun
3. Efektivitasnya menurun karena cuaca musim dingin, cuaca, penyakit tanaman, dan kerusakan vegetasi yang disebabkan oleh hama.
4. Memiliki keterbatasan pada konsentrasi yang rendah
5. Bahan organik hasil panen melalui proses fitoekstraksi tergolong limbah RCRA (Resource Conservation and Recovery Act)
6. Penumpukan substansi berupa logam berat pada serangkaian rantai makan

Proses fitoremediasi terdiri dari beberapa tahapan untuk mengurangi polutan, di antaranya :

1. *Phytoaccumulation (phytoextraction)*

Phytoaccumulation (phytoextraction) adalah tahap tumbuhan menarik bahan pencemar yang ada di dalam tanah, diakumulasikan di sekeliling akar tanaman, dan mengantarkan zat kimia ke bagian tanaman berupa akar daun dan batang (Herniwanti, 2021). Proses fitoekstraksi tidak memerlukan banyak dana, selain itu dapat menurunkan pencemar secara konstan melalui tanah.

Kadar pencemar dapat berkurang sampai 95% dan kontaminan bisa diolah kembali dari bahan organik tanaman yang tercemar.

Penggunaan tanaman dalam tahap *phytoaccumulation* untuk menyerap logam terbatas karena prosesnya lambat, sistem akar pendek, dan hasil bahan organiknya sedikit. Bahan organik tanaman juga harus dipanen dan dibuang dengan aman sesuai dengan standarnya. Ada beberapa penyebab pembatasan luas fitoekstraksi seperti toleransi terhadap logam berbahaya, kecepatan resapa logam pada akar, ketersediaan biologis logam di dalam rizosfer, perpindahan ke pucuk, dan ukuran logam yang menempel pada akar. Proses fitoekstraksi juga terbatas pada logam dan senyawa anorganik lainnya dalam tanah atau sedimen.

Tanaman harus mengekstraksi logam berat dalam konsentrasi tinggi dari akarnya, mengubah logam berat menjadi biomassa permukaan, dan menghasilkan biomassa tanaman dalam jumlah banyak. Selain itu, tanaman remediatif harus mempunyai mekanisme untuk menetralkan dan menoleransi logam konsentrasi tinggi yang terakumulasi di tunasnya (Bintan, 2020).

Fitoekstraksi bisa meminimalisir pencemar seperti radionuklida dan senyawa anorganik (Mwegoha, 2008). Lebih lanjut dilaporkan oleh Fulekar dan Jadia (2009)

bahwa bunga matahari (*Helianthus annus*) bisa dimanfaatkan sebagai tanaman fitoekstraksi untuk mengurangi radionuklida (radioaktif Cesium-137 dan strontium-90) dalam tragedi nuklir *Chernobyl* dan meminimalisir beberapa logam berat lainnya. Keberhasilan fitoekstraksi bertumpu pada reaksi antara logam, tanaman, dan tanah yang didorong oleh kondisi iklim. Jenis tanaman yang digunakan adalah jenis hiperakumulator, seperti tanaman hijau, bunga matahari dan jagung (Herniwanti, 2021).

2. *Rhizofiltration* (*rhizo* = akar)

Rhizofiltration merupakan tahap akar tanaman menyerap polutan dan menyimpannya di akar. Rizofiltrasi dimanfaatkan sebagai pemulihan air tanah yang diekstraksi, air permukaan, dan air limbah dengan konsentrasi pencemaran kecil. Proses ini adalah proses adsorpsi atau pengendapan ke akar tanaman atau peresapan pencemar dalam campuran yang memutari area akar (Bintan, 2020). Siklus ini dibuktikan dengan menanam bunga matahari di danau yang berisi bahan radioaktif. Hidroponik atau budi daya air, kerangka akar dapat digunakan untuk menjelaskan proses rhizofiltrasi. Zat asing di dalam air diserap (tertahan) ketika bersentuhan dengan akar, dan akar tanaman dikumpulkan dan disiram sampai tanah menjadi jenuh.

Struktur tanaman diserap atau disimpan di zona akar atau di sekitar akar. Rhizofiltrasi bisa diterapkan untuk menahan Cr, Zn, Ni, Cu, Cd, dan Pb di akar (Herniwanti, 2021).

Kegunaan proses rhizofiltrasi berupa potensi untuk menggunakan tanaman darat dan air baik untuk aplikasi in-situ maupun ex-situ. Keuntungan lainnya adalah tidak perlu memindahkan kontaminan ke tunas, dengan demikian spesies selain hiperakumulator dapat digunakan. Tanaman terestrial lebih disukai karena mempunyai akar berserat dan panjang sehingga menambah luas akar (Bintan, 2020).

Kekurangan dan keterbatasan pada proses ini adalah kebutuhan dalam menyesuaikan pH stabil, tanaman mungkin perlu ditanam terlebih dahulu di rumah kaca atau pembibitan; proses panen dan pembuangan dilakukan secara teratur; rancangan untuk wadah media tanam harus dirancang dengan benar; dan pemahaman yang baik tentang spesiasi / interaksi kimia diperlukan. Jenis tanaman yang dapat menjadi kandidat adalah rerumputan air, misalnya rumput gajah (*cattails*) dan eceng gondok (Bintan, 2020). Ilustrasi dari metode ini ditunjukkan pada Gambar 2.2

3. *Phytostabilization*

Phytostabilization adalah pengumpulan pencemar tertentu yang pada dasarnya racun ini tidak dapat dicerna oleh batang tanaman. Tidak dapat dialihkan oleh aliran air di media karena zat-zat tersebut melekat ke akar secara tak tergoyahkan atau stabil. Polutan tidak akan dapat berkembang lagi karena siklus ini akan mencegah mereka masuk ke air tanah atau udara. Tanaman yang tahan terhadap jenis racun, dapat menggunakan metode ini untuk memperluas penutup keseluruhan bagian tanaman (tajuk). Tanaman memerlukan fitostabilisasi dengan kemampuan untuk menjerat logam, menghindari perpindahan logam ke seluruh bagian tumbuhan, dan akarnya berkembang tepat waktu. Ada tiga sistem potensial yang menjadi dasar dalam siklus fitostabilisasi:

- a. Reaksi redoks (reduksi – oksidasi);
- b. Pengendapan kontaminan
- c. Pengikatan zat-zat organik menjadi bagian lignin tumbuhan (Herniwanti, 2021).

Siklus fitostabilisasi secara teratur digunakan untuk membersihkan zat anorganik, seperti logam seng, tembaga, krom, kadmium, arsen, dan timbal. Jenis tanaman yang dapat diterapkan berupa kedelai, tanaman jenis rumput dan bunga matahari

4. *Rhizodegradation*

Rhizodegradation mengacu pada dekomposer polutan oleh kegiatan mikroorganisme di lingkungan tanaman, misalnya jamur dan mikroorganisme. Mikroorganisme yang menguraikan bahan organik menjadi nutrisi. Berbagai jenis mikroorganisme memiliki kemampuan untuk menguraikan bahan organik, seperti minyak bumi dan produk limbah yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Zat berbahaya tersebut diubah menjadi zat yang tidak berbahaya melalui siklus penguraian. Penambahan nutrisi akan meningkatkan pergerakan mikroba karena zat yang dihasilkan akar tanaman, berupa gula, asam mengandung karbon organik dan alkohol

Cara tanaman menghantarkan dan mengangkut oksigen beserta air ke dalam tanah dikenal sebagai sistem rhizodegradasi. Tanaman juga mendorong biodegradasi melalui berbagai proses, seperti mematikan berbagai sistem metabolisme dan mengangkut oksigen ke area akar. Bahan pencemar dipisahkan oleh mikroba di dalam tanah dan dibantu oleh organisme dan eksudat (zat penghasil akar tanaman). Eksudat adalah asupan bagi mikroba yang memisahkan pencemar dari organisme tanah. Siklus rhizodegradasi cocok untuk mengurangi polusi organik. Jenis tumbuhan yang dapat dimanfaatkan

adalah berbagai jenis rumput (Herniwanti, 2021).

5. *Phytodegradation* / fitotransformasi

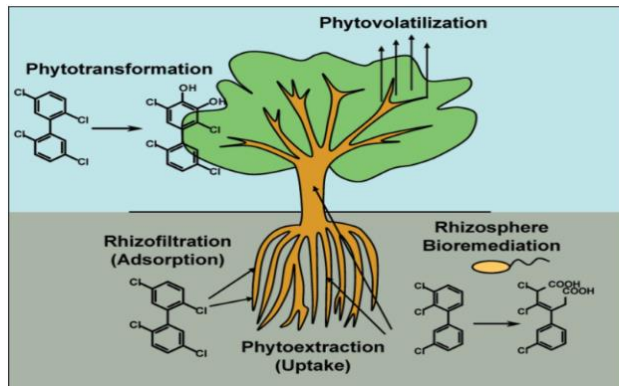
Phytodegradation / fitotransformasi adalah siklus yang dilakukan tanaman untuk memisahkan racun yang mengandung atom kompleks menjadi zat tidak berbahaya yang mengandung atom parsial non-kompleks, yang membantu tanaman memperbaiki diri. Siklus ini terjadi di dalam batang, daun, dan akar dengan bantuan protein yang berasal dari tanaman itu sendiri, berupa enzim yang dihasilkan oleh tanaman untuk menghancurkan polutan dan pencemar tersebut melalui metabolisme oleh tanaman. Enzim seperti nitrilase, dehalogenase, lakase, dan nitrodictase terlibat dalam metabolisme ini. Polutan yang terdegradasi dengan *phytodegradation* ini berupa senyawa organik seperti senyawa alifatik terklorinasi dan nitroaromatik. Beberapa tumbuhan mengeluarkan senyawa sintetis yang mempercepat siklus dekomposisi (Herniwanti, 2021). Jenis tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dengan metode ini adalah rerumputan dan pepohonan. Ilustrasi dari metode ini ditunjukkan pada Gambar 2.2

6. *Phytovolatilization*

Phytovolatilization adalah cara menghilangkan polutan di sekitar tanah melalui pengenceran dan peluruhan fotokimia di atmosfer. Polutan juga

dimasukkan ke dalam tubuh tanaman selama penguapan tanaman, namun polutan atau produk penguraian dalam bentuk yang ringan menguap diangkut dari daun bersama uap air. Penguapan tanaman juga dapat mengedarkan pencemar yang berasal dari batang dan organ tumbuhan lainnya yang dilewati pencemar sebelum menjangkau daun (Bintan, 2020).

Beberapa tanaman dapat mengeluarkan 200-1000 liter air dari batangnya setiap hari. Zat beracun dapat berubah sebelum memasuki lingkungan. Kontaminan dari sumber alami memanfaatkan siklus ini dengan tepat. Zat berbahaya dapat meresap melalui daun, dan zat yang mudah menguap memiliki kemampuan yang rendah untuk mengendap di udara, sehingga menghilang dan tidak berbahaya. Beberapa campuran alami yang berasal dari tumbuhan dapat disalurkan menggunakan metode fotodegradasi (Herniwanti, 2021). Ilustrasi dari metode ini ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Proses rizofiltrasi, fitotransformasi dan fitovolatilisasi

Mekanisme akumulasi logam berat oleh tanaman hiperakumulator dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

1. Penyerapan oleh akar tanaman. Pada proses penyerapan logam berat oleh tanaman, unsur logam harus berbentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tanaman. Senyawa yang terlarut akan diserap oleh akar bersama dengan air. Sedangkan senyawa yang bersifat hidrofobik diserap oleh permukaan tanaman (Widyasari, 2021).
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Pada proses translokasi, setelah unsur logam menembus lapisan endodermis akar tanaman kemudian diteruskan ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) menuju bagian tanaman lainnya (Widyasari, 2021).

3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Pada proses ini

tanaman berusaha mencegah keracunan logam terhadap sel dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti pada akar agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman (Widyasari, 2021).

E. Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*)

Taksonomi

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Subdivisi : *Angiospermae*

Kelas : *Monocotyledoneae*

Ordo : *Liliales*

Famili : *Agavaceae*

Genus : *Sansevieria*

Spesies : *Sansevieria trifasciata* L.

Morfologi tanaman lidah mertua :

1. Akar

Lidah mertua termasuk kelompok monokotil. Akar *Sansevieria* mempunyai bentuk serabut. Akar yang normal mempunyai tanda berwarna putih dan tampak berisi, tetapi akar yang abnormal berwarna cokelat (Ganing, 2021).

2. Rimpang

Daun mertua mempunyai organ seperti batang yang disebut rimpang atau rhizoma. Rimpang ini berfungsi

sebagai cadangan nutrisi yang dihasilkan selama proses fotosintesis. Rimpangnya menyebar di bawah tanah, bahkan terkadang di permukaan tanah. Ujung organ ini terdiri dari jaringan meristem, yang memungkinkan tumbuh panjang (Ganing, 2021).

3. Daun

Lidah mertua mempunyai tekstur daun tebal dan banyak mengandung air. Bentuk daunnya membuat lidah mertua tahan terhadap tempat gersang. Dapat menekan penguapan air dan transpirasi. Daun akan keluar di sekeliling batang semu di atas permukaan tanah. Bentuk daunnya memanjang dengan ujung runcing, dan tulang daunnya sejajar. Beberapa spesies tanaman ini mempunyai duri pada daunnya. Tanaman daun lidah mertua terdiri dari 2-6 helai daun pertanaman, mempunyai panjang daun 15 - 150 cm, dan lebar daun 4 - 9 cm, sifat permukaan halus, biasanya mempunyai warna hijau bercorak kuning (Ganing, 2021).

4. Bunga

Lidah mertua menghasilkan bunga yang tumbuh vertikal dari ujung batangnya. Bunga lidah mertua tergolong berumah dua, karena putik dan serbuk sari tidak dalam satu kuncup bunga. Bunga jantan memiliki serbuk sari sedangkan bunga betina memiliki putik. Bunga ini dapat mengeluarkan bau aromatik, terutama

pada saat malam hari (Ganing, 2021).

5. Biji

Biji yang dihasilkan melalui proses penyerbukan serbuk sari pada kepala putik mempunyai peranan yang amat berguna dalam tahap reproduksi tumbuhan. Biji *Sansevieria* berkeping tunggal sesuai tumbuhan monokotil pada umumnya. Kulit yang tebal di bagian luar biji berfungsi sebagai lapisan pelindung. Embrio yang akan menjadi benih tanaman berada di dalam kulit (Ganing, 2021). Gambar bagian *Sansevieria trifasciata* ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Organ Tanaman *Sansevieria trifasciata* L. wild 1. Daun; 2 Stolon atau Batang Semu; 3. Bunga; 4. Akar; 5. Biji; 6. Rhizoma

Tanaman lidah mertua merupakan tumbuhan obat yang terbukti secara klinis mempunyai efek positif terhadap penyakit diabetes dan wasir sehingga cocok dijadikan tanaman hias. Serat yang dikumpulkan dari lidah mertua

sebagian dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku tekstil, khususnya Cina dan Selandia Baru. Di Afrika, getahnya digunakan sebagai penangkal serangga dan ular (Putri, 2021).

Tanaman lidah mertua mampu menjernihkan udara dari zat berbahaya. Menurut NASA, tanaman lidah mertua menyerap 107 polutan, seperti logam berat kadmium, kromium, timbal, dan benzena. Pasalnya, setiap daun tanaman lidah mertua mengandung bahan aktif pregnane glikosida, yakni unsur yang dapat memecah unsur berbahaya menjadi gula, asam amino dan asam organik. Lidah mertua mengandung beberapa antioksidan berupa alkaloid, flavonoid, saponin dan tanin. Komposisi kimia tumbuhan ini terdiri dari tanin, saponin, pregnane glikolida, sanseverigenin, hemiselulosa, serat, dan ruscogenin (Putri, 2021).

Tanaman lidah mertua mempunyai potensi menjerat racun sehingga turut andil dalam reboisasi lingkungan. Sistem ini digunakan untuk menjerat emisi kendaraan. Di sisi lain, tanaman lidah mertua sebagai tanaman hias dapat mengobati sindrom gedung sakit, yaitu kondisi dalam ruang yang tidak segar, pengaruh tingginya konsentrasi karbon dioksida, pemakaian AC, dan nikotin. Tumbuhan lidah mertua mengandung senyawa seperti β -sitosteril dan saponin steroid yang mempunyai gugus sulfhidril (-SH) dan

gugus karbonil (-CO) yang dapat mengikat logam berat. Komposisi yang terkandung dalam tanaman *Sansieveria* secara global bisa diketahui pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Komposisi tanaman *Sansieveria* secara global

Komposisi kimia	%
Selulosa	50-60
Lignin	5-10
Ruscogenin	1-2,5
4-0 Methyl glucuronic Acid	3-5
Beta Siti sterol	2-5
d-xylose	0,1-1
n-butyl 4 OL propylphthalate	1-5
Neoruscogenin	0,1-1
Sanseverigenin	4-7
Pregnane glikolid	1-4

Sumber : Rusmiati, 2019

Keunggulan lainnya adalah tanaman mertua merupakan tumbuhan yang amat gampang diperbanyak. Perbanyak tanaman dilakukan secara perbanyakan dengan biji dan secara nutrisi melalui pengangkatan tunas kloning, pemisahan bibit, dan stek. Tanaman ini cocok untuk iklim tropis karena mampu berkembang pada situasi minim air dan sinar matahari. Daunnya tebal dan besar kandungan air (sukulen), sehingga tanaman ini amat kuat terhadap cuaca panas. Kemampuan untuk mudah beradaptasi dengan lingkungan. Kekurangan dari tanaman ini adalah laju perkembangan yang relatif lama (Putri, 2021).

Tanaman ini mampu menghambat zat-zat organik non nutrisi pada permukaan akarnya sehingga mempunyai

kemampuan menahan zat-zat toksik yang timbul melalui jalur biokimia dan fisiologis. Logam berat dimetabolisme melalui berbagai proses seperti oksidasi, reduksi, dan reaksi hidrolisis enzimatis. Lidah mertua mempunyai kemampuan dalam mengikat logam berat, sehingga tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediasi (Putri, 2021).

Proses peresapan dan akumulasi dapat dilakukan oleh tanaman lidah mertua untuk melakukan proses penyerapan logam berat. Logam diangkut melalui tiga proses dalam mekanisme ini: logam diserap melalui akar, perpindahan logam dari akar ke organ lain tanaman, dan dilokasikan tanpa hambatan di area sel tertentu. Jika larutan berada di sekitar akar, tanaman menyerap logam. Mekanisme selanjutnya adalah pengangkutan logam oleh floem dan xilem ke bagian tumbuhan yang lain (Putri, 2021).

Sansevieria trifasciata merupakan varietas tanaman hias yang penting sejak tahun 1920-an. Tanaman ini mulai dijual di Eropa pada tahun 1930an dan sejak itu tersebar ke seluruh negeri. Tanaman ini memiliki banyak varietas, yaitu:

1. *Sansevieria trifasciata* L biasa disebut *snake plant*, mempunyai enam daun di setiap roset. Daun dewasa memiliki warna hijau tua dengan pola pita abu-abu tipis yang diselingi oleh warna hijau melintang. Tanaman ini memiliki tinggi antara 2,5 - 3 kaki dan daunnya lebar kisaran 2 - 2,8 inchi. Tumbuhan yang ditanam di bawah

cahaya matahari langsung akan mempunyai motif pita yang terang, sementara tanaman yang ditanam menggunakan penyinaran yang kurang dari 2000 *foot-candle* atau kurang akan memiliki warna daun hijau tua yang lebih pudar atau kurang cerah (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* L dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. *Sansevieria trifasciata* L

2. *Sansevieria trifasciata* var *Bentel's Sensation* biasa disebut *Sansevieria* putih memiliki strip hijau tua di sepanjang garis longitudinal dengan pola warna putih. Dibandingkan dengan jenis *Sansevieria trifasciata* lainnya, daunnya lebih kecil, rapat, dan tegak. Gustav Bantel menemukan tanaman ini di St. Louis Missouri dan dipaten pada tahun 1948. Jumlah tanaman ini sangat sedikit dan produksinya sedikit (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Bentel's Sensation* dapat dilihat

pada Gambar 2.5

Gambar 2.5 *Sansevieria trifasciata* var *Bentel's Sensation*

3. *Sansevieria trifasciata* var *Laurentii* juga dikenal sebagai *Sansevieria* pita emas, karena tumbuh tegak dengan pola kuning emas di tepi daunnya. berasal dari Congo. Ada banyak varietas *Sansevieria*, tetapi "*Laurentii*" adalah yang paling umum di kalangan *Sansevieria* hias (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Laurentii* dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 *Sansevieria trifasciata* bar *Laurentii*

4. *Sansevieria trifasciata* var *Laurentii Compacta*; varietas ini memiliki daun pendek dengan pita emas di antara warna daun hijau tua (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis

Sansevieria trifasciata var *Laurentii Compacta* dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Sansevieria trifasciata* bar *Laurentii Compacta*

5. *Sansevieria trifasciata* var *Futura* mirip dengan *S. trifsaciata Laurentii* namun lebih pendek, daunnya lebih lebar, lebih banyak daun di setiap rossetnya dan kekhususannya adalah memiliki warna kuning yang lebih rapat berkisar antara 0,1 – 0,2 inchi. Kebiasaan hidup “*Futura*” mirip dengan “*Moonshine*”. “*Futura*” adalah kultivar baru yang disukai konsumen. Penanaman dengan memotong daunnya menghasilkan tanaman hijau dengan pita hijau keperakan melintang, tetapi strip kuningnya hilang (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Futura* dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Sansevieria trifasciata* var *Futura*

6. *Sansevieria trifasciata* var *Hahnii*; merupakan varietas yang ditangkarkan, memiliki daun hijau gelap yang pendek, dan memiliki bentuk roset seperti vas. Varietas "*Hahnii*" tidak pernah berbunga, tetapi pola pita daunnya mirip dengan *S. trifasciata* biasa (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Hahnii* dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 *Sansevieria trifasciata* var *Hahnii*

7. *Sansevieria trifasciata* var *Golden Hahnii* adalah varietas yang ditangkarkan dengan ciri-ciri strip lebar yang paralel dengan urat daun; daun hijau yang indah berstrip kuning

di bagian tengah dan pinggir. Sylvan Hahn menemukan tanaman ini dan mepatenkan pada tahun 1953. "*Golden Hahnii*" jarang dibiakkan secara masal karena pola pitanya (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Golden Hahnii* dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 *Sansevieria trifasciata* var *Golden Hahnii*

8. *Sansevieria trifasciata* var *Moonshine* adalah varietas baru ini memiliki ciri daun kokoh, warna hijau abu-abu keperakan, dan garis-garis hijau tua pada tepi daun. "*Moonshine*" biasanya memiliki tiga daun atau lebih yang berdiri sendiri-sendiri di tengah roset dalam bentuk vas. Kebiasaan pertumbuhan '*Moonshine*' mirip dengan '*Futura*' dan '*Robusta*'. (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Moonshine* dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 *Sansevieria trifasciata* var *Moonshine*

9. *Sansevieria trifasciata* var *Nelsonii*; tanaman ini merupakan turunan dari '*Laurentii*' yang ditemukan oleh Oscar Nelson dan dipatenkan pada tahun 1944. Warna daunnya hijau tua, tekstur daun lembut, mengkilat, dan keras. Daunnya kecil dan kuat, dengan lebih banyak daun per roset dibandingkan spesiesnya, namun proses pertumbuhan relatif terlambat (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Nelsonii* dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 *Sansevieria trifasciata* var *Nelsonii*

10. *Sansevieria trifasciata* var *Robusta*; memiliki tinggi yang mirip dengan "*Futura*" tetapi tidak memiliki garis kuning pada tepi daun. Daunnya 30% lebih pendek dan 1,5

hingga 2 kali lebih lebar dari *S.trifasciata* biasa. Warna dan corak garisnya sama dengan *S. Trifasciata* (Puji, 2011). Gambar lidah mertua jenis *Sansevieria trifasciata* var *Robusta* dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 *Sansevieria trifasciata* var *Robusta*

11. *Sansevieria trifasciata* var *Silver Hahnii* merupakan *sansevieria* budi daya dengan garis daun berwarna abu-abu perak kehijauan. Terdapat pita hijau melintang yang tidak terlihat jelas pada bagian keperakan, dan tepi daun berwarna hijau tua. "*Silver Hahnii*" adalah turunan "*Hahnii*" dari New Orleans dan dipatenkan oleh Sylvain Hahn pada tahun 1953(Puji, 2011). *Sansevieria trifasciata* var *Silver Hahnii* dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 *Sansevieria trifasciata* var *Silver Hahnii*

12. *Sansevieria trifasciata* var *Silver Queen*; ciri khas tumbuhan ini adalah daun mudanya biasanya bergerombol, berwarna hijau keperakan abu-abu, dan diselingi tepi hijau tua. Daun tua berwarna hijau tua dan biasanya tumbuh dalam kondisi cahaya redup (Puji, 2011). *Sansevieria trifasciata* var *Silver Queen* dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 *Sansevieria trifasciata* var *Silver Queen*

Tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) memiliki zat aktif pregnane (glikosida 1-beta,3-beta-dihydroxypregna- 5,16-dien-20-one glikosid) (Nurcholisoh, 2015), yang bertanggung jawab atas tingkat penyerapan timbal. Polutan yang telah diserap kemudian dibawa ke akar.

Mikroba pada akar membersihkan dengan menggunakan zat aktif pregnane glikosid. Proses ini, mikroba menghasilkan gula, asam amino, dan asam organik yang diperlukan tumbuhan (Ratnawati, 2018).

Enzim ALA dehidrase merupakan enzim yang peka terhadap inhibisi oleh timbal. Dengan *metabolic breakdown* yang dilakukan oleh senyawa aktif pregnane glikosid dianggap dapat mereduksi timbal di dalam tubuh. Sehingga enzim ALA dehidrase tidak terinhibisi dan produksi heme kembali baik (Ifada, 2016).

Tahap pertama (proses penangkapan dan pemecahan) *Sansevieria* menangkap polutan. Polutan tersebut dipecah menjadi ion. Ion diserap oleh jaringan *Sansevieria*, kemudian diserap oleh jaringan *Sansevieria* yang mengandung pregnan glikosida. *Sansevieria* mengeluarkan oksigen melalui akar. Senyawa beracun keluar dan menumpuk di jaringan akar kemudian dilepaskan. Peristiwa ini terjadi pada proses transpirasi (Riksanto, 2021).

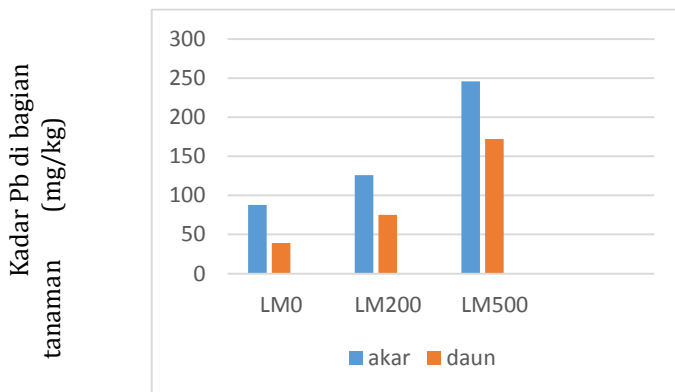
Penyerapan logam timbal (Pb) dalam jaringan tanaman dapat dilakukan melalui dua cara yaitu, penyerapan melalui akar dan daun. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa dalam larutan di sekitar sistem perakaran dengan beberapa cara tergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik

diserap oleh permukaan akar. Kompleks logam-organik dalam tanah bergerak ke zona perakaran serta masuk ke rambut akar melalui membran sel. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya. Logam kemudian ditempatkan pada sel dan jaringan tanaman dengan tujuan agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Tanaman umumnya akan menimbun logam dalam vakuola dan organ tertentu seperti akar dan biji untuk mencegah keracunan logam dalam tanaman (Nugroho, 2016).

Pengamatan secara fisik selama penelitian juga menunjukkan bahwa tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) masih bertahan hidup sampai dengan akhir penelitian. Pertumbuhan tanaman dapat dipengaruhi oleh penyerapan logam Pb. Tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) memiliki keunggulan yang jarang ditemukan pada tanaman lain. Salah satunya adalah ketahanan terhadap polutan. Karakteristik fisik tanaman, seperti berat, lebar daun, dan tinggi, menunjukkan efek logam berat pada tanaman. Penelitian yang dilakukan pada tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) dengan konsentrasi yang berbeda selama waktu pemaparan, tidak ada perubahan fisik yang terlihat pada tanaman. Ini menunjukkan bahwa

tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) sangat tahan terhadap polutan (Ratnawati, 2018).

Gambar 2.16 menunjukkan konsentrasi Pb tertinggi terdapat pada bagian akar tanaman. Hal ini karena proses masuknya konsentrasi Pb dalam jaringan. Jaringan akar berinteraksi langsung dengan tanah (media) yang tercemar timbal, sehingga konsentrasi timbal pada akar lebih tinggi daripada di batang dan daun. Grafik perbandingan persebaran Pb antara bagian daun dengan akar dapat dilihat pada gambar 2.16. Unsur hara dapat berinteraksi dengan permukaan akar dengan tiga cara, yaitu melalui difusi dalam larutan tanah, secara pasif melalui aliran air tanah, dan kontak dengan hara di dalam matriks tanah (Ratnawati, 2018).



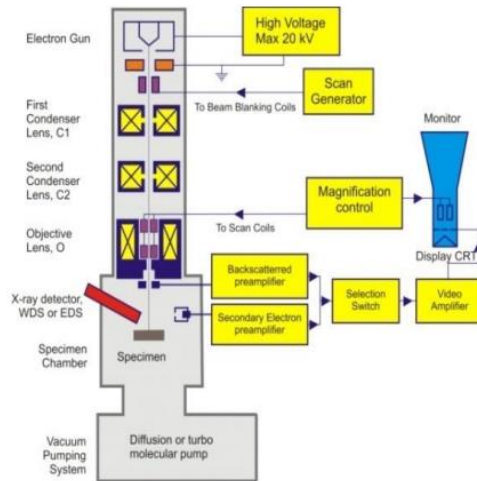
Gambar 2.16 Perbandingan persebaran konsentrasi Pb antara daun dan akar tanaman lidah mertua

F. Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang menggunakan berkas e^- terfokus, yang berinteraksi dengan sampel guna membuat bentuk topologi dan unsur penyusunnya. Perangkat besar yang pertama berupa tiga pasang lensa elektromagnetik yang bermanfaat memusatkan cahaya elektron ke suatu titik kecil, diikuti oleh dua pasang *scan coil* discan dengan frekuensi variabel yang memindai permukaan sampel. Resolusi lateral yang dicapai meningkat dengan semakin kecilnya jumlah berkas yang difokuskan. Komponen stigmator dapat mendeteksi kekeliruan fisika pada lensa elektromagnetik, seperti astigmatismus. Tidak ada sistem pengecekan SEM untuk kekeliruan aberasi lainnya (Avivah, 2018).

Komponen kedua berupa sumber elektron. Sumber elektron biasanya berbentuk serat yang terbuat dari kawat tungsten atau jarum yang terbuat dari paduan cerium Hexaboride CeB_6 atau lantanum Hexaboride LaB_6 , yang secara teoritis menyediakan energi monokromatik melalui cahaya elektron. Komponen ketiga berupa detektor gambar yang mengubah sinyal elektronik menjadi gambar. SEM ini memiliki dua jenis detektor, yaitu detektor SE dan detektor BSE. Saat berinteraksi dengan sampel, berkas elektron terfokus menghasilkan elektron hamburan balik (BSE),

elektron sekunder (SE) dan tanda sinar-X. Monitor akan menampilkan hasil deteksi dari detektor (Avivah, 2018). Adapun diagram SEM dapat dilihat pada Gambar 2.17



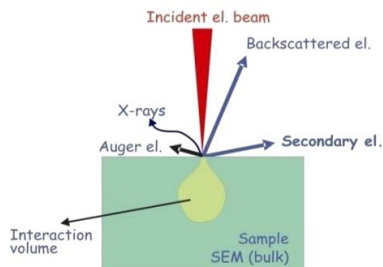
Gambar 2.17 Blok diagram SEM

Sumber : (Sujatno, 2015)

Elektron sekunder adalah jenis sinyal yang biasa digunakan dalam pemrosesan gambar SEM. SE relatif akurat dalam menghasilkan kontras topologi dalam suatu sampel, seperti tekstur permukaan dan kekerasan. Hanya SE yang dapat mencapai detektor yang dapat menghasilkan gambar, dan ketika SE diblokir, maka kontras gambar menjadi lebih gelap. Selain itu, elektron bertegangan rendah pada sinar primer cenderung menghasilkan SE pada permukaan sampel, sehingga menghasilkan representasi akurat dari informasi bentuk detail sampel (Avivah, 2018).

BSE adalah pemindaian dengan energi di atas 50 eV. BSE menghasilkan perbedaan relatif terhadap gambaran topologi SE. Bentuk gambar SEM biasanya dikorelasikan dengan sinyal terdeteksi yang diperoleh dari interaksi antara sinyal elektron dan sampel topologi (Avivah, 2018).

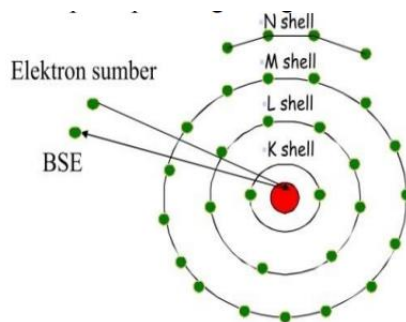
Berkas elektron memindai permukaan sampel, menyebabkan elektron berinteraksi dengan atom permukaan dan bawah permukaan sampel. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17, separuh cahaya elektron dapat keluar lagi sebagai akibat dari interaksi tersebut. Elektron ini disebut BSE (*Backscattered Electrons*). Sebagian kecil elektron menembus material, lalu mentransfer sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu (SE) *Secondary Electrons*. Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya X-ray yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti (Sujatno, 2015).



Gambar 2.18 Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM.

Sumber : (Sujatno, 2015)

Proses pembentukan BSE terjadi pada atom di bagian permukaan sampel yang lebih dalam. Hal ini disebabkan oleh tumbukan antara elektron dari sumber dan inti, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. Proton yang menyusun inti atom memiliki massa hingga 2000 kali lipat massa elektron, sehingga sebagian besar elektron memantul 180° saat bertabrakan. Elektron BSE ini membawa informasi tentang atom yang bertabrakan dan ikatannya dalam fasa. Oleh karena itu, kontras gambar yang dihasilkan dari elektron BSE dapat dipandang sebagai kontras fasa dalam rentang tertentu (Sujatno, 2015).

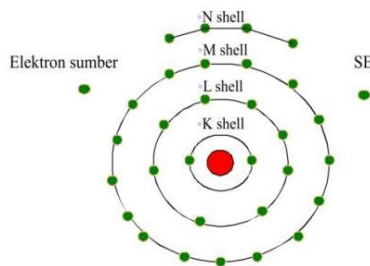


Gambar 2.19. Proses terbentuknya BSE

Sumber : (Sujatno, 2015).

Elektron sumber dalam perjalanannya di dalam bahan hanya melewati awan elektron atau orbital sebuah atom

maka elektron tersebut dapat saja mentransfer sebagian energi kinetiknya ke satu atau lebih elektron dalam orbit tersebut. Elektron-elektron ini menjadi tidak stabil dan tereksitasi sehingga menyebabkannya bergeser posisi dan menjauh dari permukaan material, maka elektron tersebut dikenal sebagai *secondary electron* (SE) atau elektron sekunder, Gambar 2.19. Hanya elektron elektron yang berada di dekat permukaan bahan yang dapat keluar karena energi elektron SE rendah. Elektron SE berfungsi dalam menciptakan gambar struktur tekstur bahan dengan bantuan detektor khusus. Morfologi tekstur SE berupa porositas, batas butir, tepi, lembah, dan puncak lebih rinci dengan ketajaman yang tinggi daripada BSE (Sujatno, 2015).



Gambar 2.20. Proses pembentukan X-ray dan SE

Cara menghindari interferensi berkas elektron dari molekul udara, semua jalur elektron (kolom) dikosongkan sampai 10^{-6} torr. Vakum yang tinggi meningkatkan sensitivitas perangkat untuk mendeteksi bahan non-konduktif, sehingga sulit menganalisis bahan ini. Teknik *low*

vaccum dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini, dengan memilih opsi beroperasi dalam vakum pendek. Bahan non konduktif juga mampu diselidiki memakai teknik vakum pendek. Tekanan pada metode ini berkisar antara 30 hingga 70 Pa (Sujatno, 2015).

Energy dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) adalah detektor komponen unsur menggunakan SEM. EDX dapat menemukan unsur dengan konsentrasi setidaknya 0,1% dan atom lebih dari boron. Instrumen EDX dirancang guna mengidentifikasi 18 bahan serta mengidentifikasi pencemaran (Avivah, 2018). Analyzer, Sinar X, prosesor pulsa, detektor sinar-X, dan adalah empat komponen utama EDX (Alamsyah, 2021). EDX memiliki prinsip unsur mempunyai spektrum pemancar sinar-X yang setara, oleh karena itu setelah bertabrakan dengan cahaya elektron di SEM, sampel berhubungan dengan cahaya tersebut untuk menghasilkan sinar-X yang unik. Sampel pun dapat diketahui dan dihitung konsentrasinya. Analisis kuantitatifnya dilakukan dengan mengidentifikasi garis spektrum sinar X-Ray, sedangkan kualitatifnya dilakukan dengan membandingkan setiap unsur sampel dengan unsur yang serupa dalam standar kalibrasi yang komposisinya sudah diketahui (Avivah, 2018).

SEM dan EDX menggabungkan dua alat analisis menjadi satu panel analisis, menjadikan analisis lebih mudah

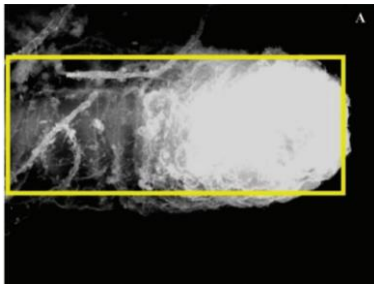
dan efisien. Analisis SEM-EDX dilakukan untuk mendapatkan gambar fitur tekstur atau material beresolusi amat detail, memberikan gambaran permukaan sampel. Kemudian dihitung menggunakan perangkat lunak untuk menganalisis komposisi bahan secara kuantitatif dan kualitatif (Avivah, 2018). Hasil deteksi SEM berupa gambar sedangkan EDX berupa grafik. Adapun gambar SEM EDX bisa dilihat pada gambar 2.21.



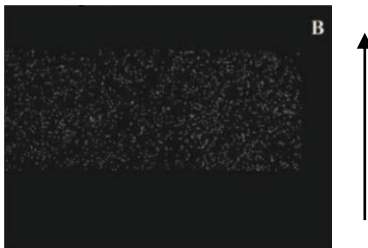
Gambar 2.21 Rangkaian instrumen SEM EDX

Mikroanalisis SEM-EDX mendeteksi Pb hanya pada akar tetapi tidak pada batang atau daun. Pada akar, perbedaan yang signifikan (uji Kruskal-Wallis; $p < 0,001$) diamati antara konsentrasi jaringan (%) : korteks (11 ± 5) dan jaringan pembuluh darah (12 ± 1) lebih rendah dibandingkan epidermis (25 ± 2). Analisis pemetaan dapat dilihat pada Gambar 2.22 menunjukkan bahwa Pb terdistribusi secara merata pada permukaan akar dan tidak ditemukan perbedaan antara ujung akar dengan zona

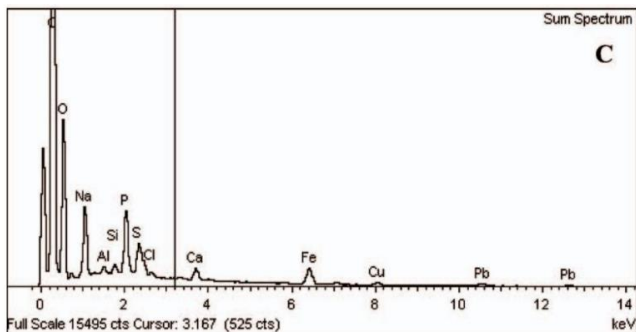
lainnya (Mingorance, 2012)



Gambar elektron 1



Pb La1



Gambar 2.22 Pemindaian mikroskop elektron dari akar yang diberi Pb 100 μ M menunjukkan area pemetaan : (a) Pb pada uji akar ; (b) Pb distribusi sepanjang permukaan akar ; (c) spektrum EDX menunjukan adanya Pb.

Sumber : Mingorance, 2012

Akar *Erica andevalensia* mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi Pb sebesar 5,8 % pada perlakuan 100 μ M, sehingga membatasi translokasinya ke bagian atas permukaan tanah. Logam Pb terdistribusi secara merata di ujung akar. Gambar dapat dilihat pada gambar 2.22. Imobilisasi Pb pada akar mampu diterapkan di spesies lain seperti lobak (*Raphanus sativus*), spesies kubis-kubisan (spesies *Brassica*), padi (*Oryza sativa*), rumput signal (*Brachiaria decumbens*), dan rumput rhodes (*Chloris gayam*). Penelitian sebelumnya menggunakan *E. Andevalensis* teramati adanya akumulasi Pb yang lebih besar dalam jaringan akar epidermis. Hasil tersebut dapat menjelaskan temuan ini di dalam larutan nutrisi dimana sekuestrasi rhizodermal mewakili mekanisme toleransi untuk spesies ini (Mingorance, 2012).

Lokalisasi Pb ke dalam jaringan epidermis akan mendukung mobilisasi di tingkat akar sebagai detoksifikasi utama yang menghindari penghambatan jalur metabolisme sensitif pada tunas. Pola distribusi timbal bergantung pada konsentrasi di rhizofer. Konsentrasi Pb yang rendah akan terjadi pergerakan apoplastik sedangkan pada konsentrasi Pb lebih besar, logam bergerak secara simplistis (Mingorance, 2012)

Lokalisasi Pb paling banyak diamati di setiap sel dan vakuola, tetapi jejak logam juga telah ditemukan dalam retikulum endoplasma, diktiosom, dan vesikel sejenis lainnya. Pb dalam jumlah kecil yang mencapai nukleus, mitokondria, dan kloroplas dapat menimbulkan efek toksik di sana. Vakuola pinositotik telah diamati di banyak spesies tanaman, terbentuk oleh invaginasi plasmalemma, yang membantu penyerapan ion logam ekstra untuk melindungi isi sel dari dampak racun timbal. Partikel timbal yang lebih besar biasanya tampak menempati dinding sel di wilayah dekat plasmodesmata, sedangkan partikel timbal yang lebih kecil dapat disimpan di dalam dinding sel menuju batas. Tanaman dikotil diamati lebih efisien dalam mengakumulasi timbal dalam sistem perakaran dibandingkan tanaman monokotil (Pant, 2020).

G. Kajian Pustaka

Putri (2021) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi media tanam dan menganalisis kemampuan bagian tubuh tanaman lidah mertua dalam mereduksi logam Pb. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-21. Hasilnya diperoleh yaitu efektivitas penyisihan Pb tertinggi pada jangka waktu 21 hari sejumlah 91,10 %. Bagian akar tanaman lidah mertua mempunyai

daya yang besar dalam mereduksi persentase logam Pb daripada daunnya. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh variasi hari dan media tanam.

Ratnawati et al (2018) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh fitoremediasi tanah kontaminasi logam berat Pb dilakukan 4 minggu dengan durasi pengambilan sampel pada hari ke 0, 7, 14, 21, dan 28. Parameter yang dianalisis adalah konsentrasi logam berat Pb bagian akar, batang, dan daun. Hasilnya menyatakan efisiensi penyerapan tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) mencapai 70,50% (418 mg/kg). Penyebaran konsentrasi Pb akhir pada sistem tanah lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) pada akar dan daun dengan nilai 246mg/kg dan 172mg/kg. Persebaran konsentrasi Pb pada tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) mempunyai konsentrasi tertinggi pada bagian akar dan sebaliknya nilai terendah pada bagian daun tumbuhan. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh variasi hari.

Ronaldo (2022) telah melakukan penelitian mengenai kemampuan translokasi tanaman melati air (*Echinodorus palifolius*) dalam penyerapan logam timbal pada akar dan batang. Pada penelitian ini menggunakan media tanam air. Konsentrasi timbal dibuat 5 mg/L dan 10 mg/L. Sampel dianalisis pada hari ke-0, 10, dan 20. Untuk pengujian logam Timbal (Pb) menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom

(SSA). Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu tanaman dan instrumen pengujian yang akan digunakan.

H. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah akar tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*) sebagai fitoremediator mampu menurunkan kadar Pb^{2+} .

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Gelas beaker, pipet, labu ukur 1000 ml, labu ukur 100 ml, neraca (*AND*), botol semprot, oven, loyang, SEM EDX (*Thermo Scientific Phenom Pro-X*), desikator (*Duran*), gelas ukur

2. Bahan

Aquades, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck*), tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*), kertas saring.

B. Prosedur Penelitian

1. Preparasi tanaman

Tanaman dipilih dengan ketinggian, jumlah daun, dan jenis tanaman yang hampir sama. Tanaman dipisahkan dari tanah. Lalu tanaman dicuci. Tanaman dimasukkan ke dalam gelas beaker ukuran 250 mL.

2. Pembuatan larutan timbal

a. Pembuatan larutan 1000 ppm

Serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang seberat 1,599 g, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Ditambahkan aquades hingga tanda batas.

b. Pembuatan limbah 10 ppm

Larutan induk timbal 1000 ppm diambil sebanyak 1 mL. Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas. Pembuatan larutan 10 ppm diulangi sebanyak tiga kali (Yusbarina, 2013).

3. Penyiapan media tanam

Aquades sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker berlabel hari ke-0. Lalu limbah 10 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker berlabel hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15 yang masing-masing berisi tanaman.

4. Perlakuan

Tanaman dicek pada hari ke-0, hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke 15. Sampel akar diambil bagian rambut akar. Lalu sampel akar dioven sekitar 20-30 menit dengan api kecil. Sampel akar diuji SEM EDX *Thermo Scientific Phenom Pro-X*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi tanaman

Preparasi tanaman merupakan tahap awalan dengan menyiapkan tanaman lidah mertua. Tanaman lidah mertua yang digunakan jenis *Sansevieria trifasciata var. laurentii* tumbuh tegak dengan motif *golden yellow* yang khas di tepi daun. Tanaman daun lidah mertua yang dipilih memiliki 3 helai daun, dengan ketinggian hampir sama. Ukuran ketinggian daun yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Ukuran ketinggian daun

Sampel	Ukuran
Hari ke-0	32 cm
Hari ke-5	34 cm
Hari ke-10	33 cm
Hari ke-15	38 cm

Tanaman dipisahkan dari tanah. Dicuci semua bagian tanaman terutama pada akarnya. Hal ini bertujuan agar tanaman terbebas dari media tanah dan pengotor. Media yang digunakan adalah media air. Tanaman yang sudah siap bisa dimasukkan ke dalam gelas beker ukuran 250 mL. Penggunaan gelas beker berfungsi sebagai wadah media air.

B. Penyiapan media tanam

Tahap pertama penyiapan media tanam adalah mengukur aquades sebanyak 100 mL. Aquades sebagai media kontrol dimasukan ke dalam gelas beker yang sudah disiapkan saat proses preparasi tanaman. Sampel kontrol ini bebas dari limbah. Sampel kontrol berfungsi untuk menjadi pembanding pengaruh perlakuan yang dilakukan pada sampel uji.

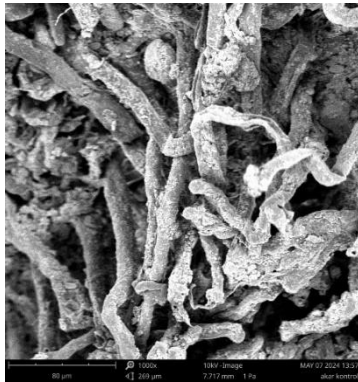
Sebanyak 100 mL limbah 10 ppm dimasukan dalam gelas beker berlabel hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15. Variasi yang digunakan berupa variasi hari, artinya jadwal panen tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*) berbeda-beda. Label pada gelas beker mengidentifikasi jadwal panen. Keuntungan menggunakan media air adalah tanaman untuk di daerah tropis, di perkotaan, dan menghemat air dengan memastikan tanaman hanya mengkonsumsi air yang dibutuhkan (Susilawati, 2019).

C. Proses Fitoremediasi

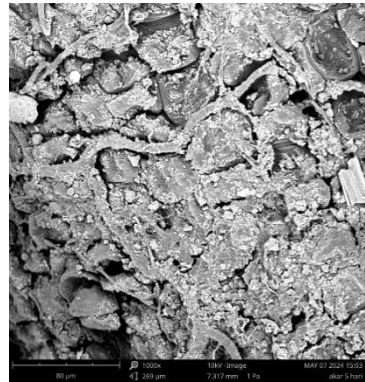
Empat tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*) dipanen dan diamati pada hari ke-0, hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15. Hasil pengamatan peneliti menunjukan, pada hari ke-0 pada umumnya tanaman segar, sedangkan pengamatan pada hari ke-5, hari ke-10, dan hari

ke-15 menunjukkan perubahan, seperti pada daun. Bagian samping daun berubah menjadi kuning kehijauan, berbeda dengan sampel hari ke-0 yang berwarna hijau segar. Gejala toksisitas Pb yang muncul seperti klorosis daun ringan. Penurunan kandungan klorofil dengan adanya paparan Pb yang terlalu lama, menyebabkan terjadinya penghambatan biosintesis klorofil (Mingorance, 2012). Warna pada daun lidah mertua (*Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*) terjadi perubahan, karena tanaman tersebut mengalami toksisitas disebabkan oleh faktor lingkungan berupa polutan

Karakterisasi SEM EDX dilakukan di Laboratorium UIN Walisongo. Karakterisasi ini digunakan untuk memastikan struktur morfologi sampel dan sebaran setiap unsur yang menyusun sampel akar tanaman lidah mertua. Tujuannya untuk mengetahui kadar timbal yang terserap. Hasil analisis SEM yang berupa foto kenampakan padatan, ditunjukkan pada Gambar 4.1 dengan perbesaran 1000 kali. Terlihat berdasarkan gambar 4.1 dapat diamati bahwa terjadi perubahan bentuk pada jaringan epidermis akar.



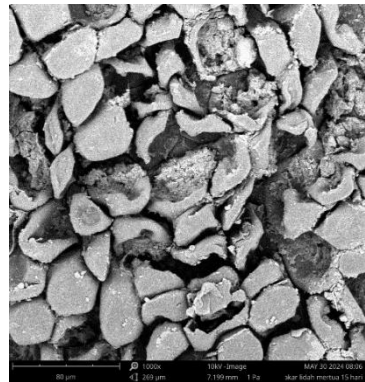
(a)



(b)



(c)



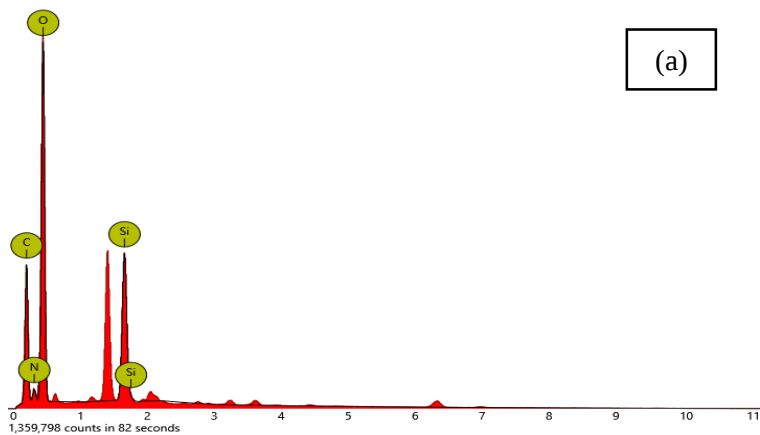
(d)

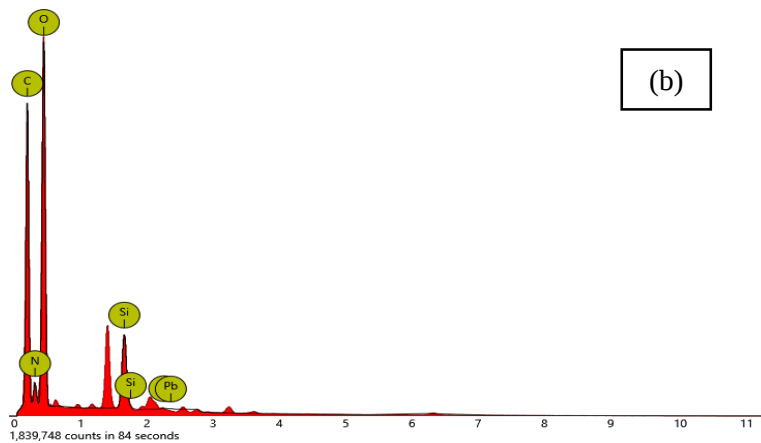
Gambar 4.1 Hasil SEM akar lidah mertua pada tegangan akselerasi 10 kV dengan perbesaran 1000x : (a) sampel hari ke-0; (b) sampel hari ke-5; (c) sampel hari ke-10; (d) sampel hari ke-15

Penjelasan terkait morfologi akar lidah mertua (*Sansevieria trifasciata var. laurentii*) dari hasil karakterisasi SEM pada Gambar 4.2 didukung dengan hasil karakterisasi analisis EDX yang menampilkan komposisi pada akar. Komposisi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2

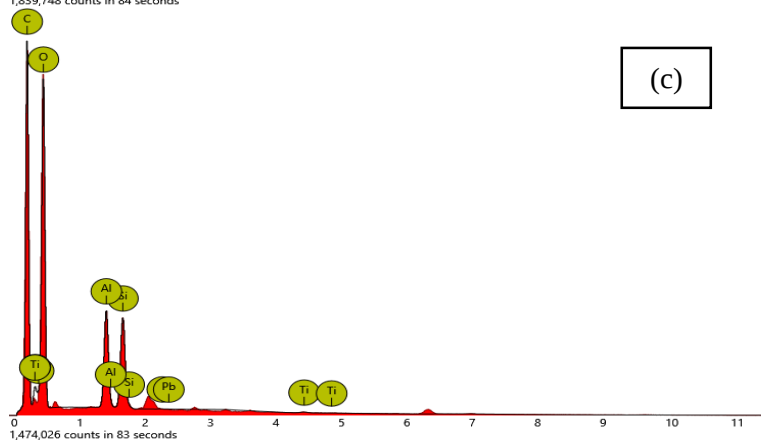
Tabel 4.2 Komposisi hasil EDX akar *Sansevieria trifasciata* var. *laurentii*

Unsur	% Massa			
	Hari ke-0	Hari ke-5	Hari ke-10	Hari ke-15
Oksigen	55,40	50,22	43,26	43,43
Karbon	30,02	36,16	49,15	48,43
Nitrogen	6,63	10,23	0	0
Silikon	7,94	2,99	3,54	2,99
Timbal	0	0,40	0,06	1,46
Aluminium	0	0	3,89	2,82
Indium	0	0	0	1,15
Titanium	0	0	0,10	0

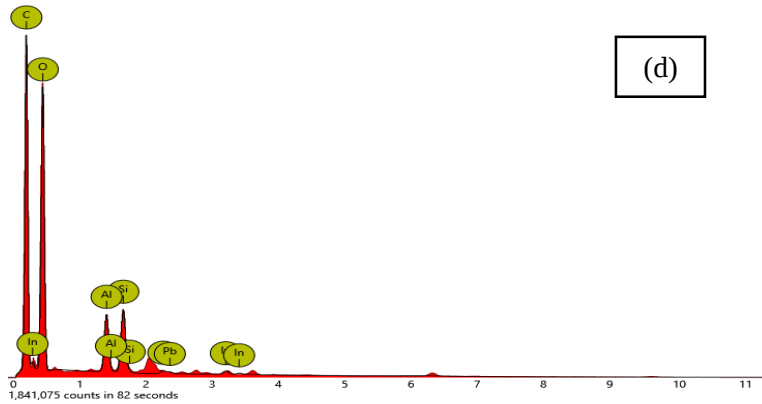




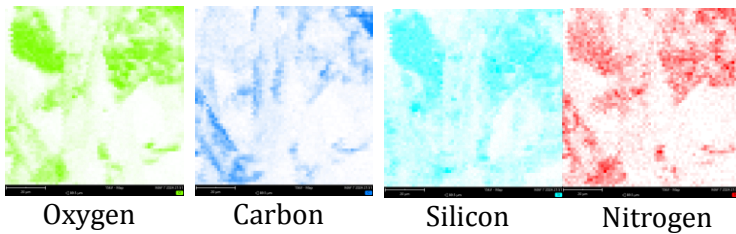
(b)



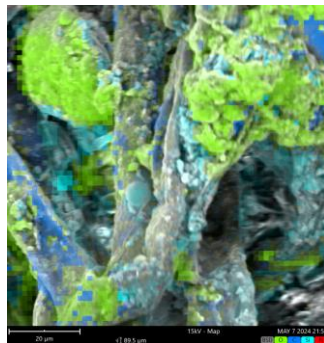
(c)

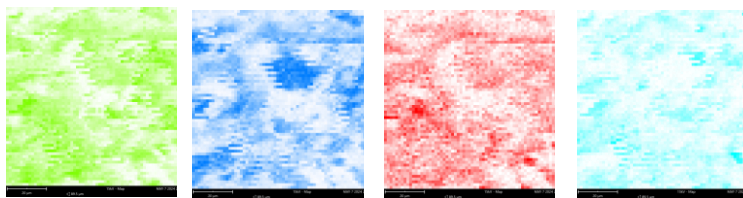


Gambar 4.2 Hasil karakteristik menggunakan EDX : (a) Sampel hari ke-0; (b) Sampel hari ke-5; (c) Akar hari ke-10; (d) Akar hari ke-15



(a)





Oxygen

Carbon

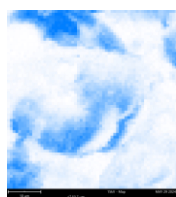
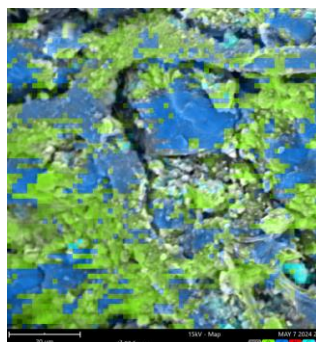
Nitrogen

Silicon

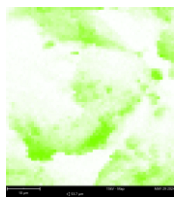


Lead

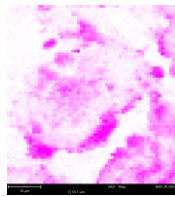
(b)



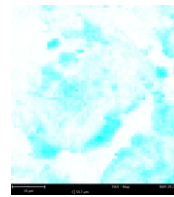
Carbon



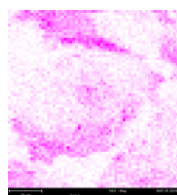
Oxygen



Aluminium



Silicon

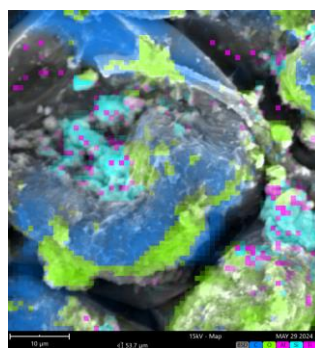


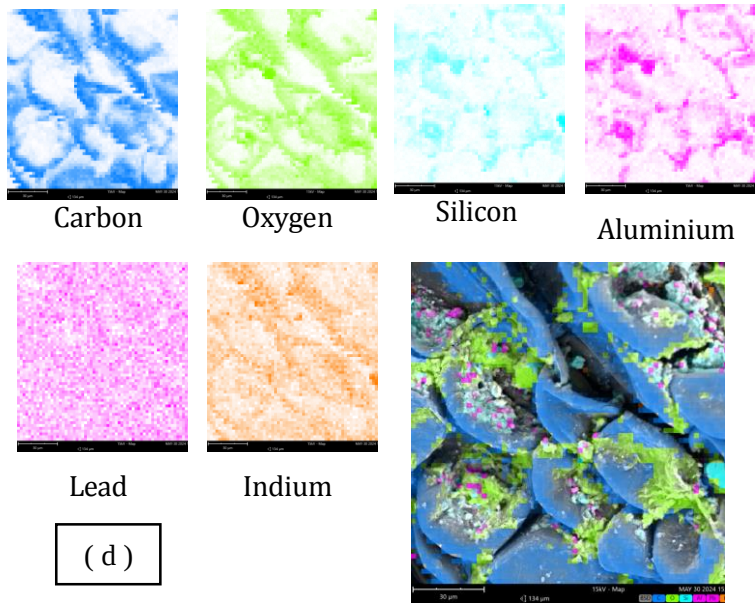
Titanium



Lead

(c)





Gambar 4.3 *Mapping* EDX sampel akar : (a) Hari ke-0; (b) Hari ke-5; (c) Hari ke-10; (d) Hari ke 15

Spektrum EDX pada Gambar 4.2b, 4.2c, dan 4.2d memperlihatkan munculnya puncak Pb menandakan bahwa fitoremediasi menggunakan lidah mertua berhasil, sedangkan pada Gambar 4.3b, 4.3c, dan 4.3d memperlihatkan bahwa hasil *mapping* EDX dari Pb menandakan bahwa fitoremediasi menggunakan lidah mertua berhasil. Hasil analisis berdasarkan EDX diketahui % massa Pb disajikan pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel 4.2 menjelaskan bahwa sampel hari ke-0 tidak terdapat kandungan timbal, karena reaktor ini berperan sebagai kontrol, dengan tidak terkontaminasi timbal (Pb) (Samar,

2019).

Kandungan logam timbal pada sampel hari ke-5, setelah dianalisis sebesar 0,40 %. Kandungan logam berat timbal yang terserap amat rendah, sebab lidah mertua masih dalam proses penyerapan timbal (Samar, 2019), sehingga waktu penyerapan optimal belum terpenuhi.

Kandungan logam timbal pada sampel hari ke-10 yang terserap mengalami penurunan, jumlah timbal yang diserap adalah 0,060 %. Terjadi penurunan daya serap timbal dapat dipengaruhi oleh usia tanaman (Fatoni, 2020). Pemilihan tanaman yang tidak sama, mengakibatkan hasil yang tidak konstan. Penurunan daya serap timbal dapat dipengaruhi oleh interaksi akar dan terkumpulnya di larutan. Hal ini terjadi saat timbal bersentuhan dengan permukaan akar (Widyasari, 2024). Kondisi lain seperti luas permukaan akar seperti ukuran partikel akar dan laju transpirasi juga dapat mempengaruhi besar timbal yang diserap tanaman melalui akar (Pant, 2020).

Kandungan logam timbal pada sampel hari ke-15 yang terserap mengalami peningkatan drastis, jumlah timbal yang diserap adalah 1,46 %. Ketika tanaman adaptif menyerap logam berat akan memproduksi enzim reduktase pada akarnya. Timbal direduksi oleh enzim reduktanse, lalu dibawa ke jaringan akar. Kenaikan kadar timbal (Pb) pada bagian akar tanaman lidah mertua diakibatkan oleh waktu

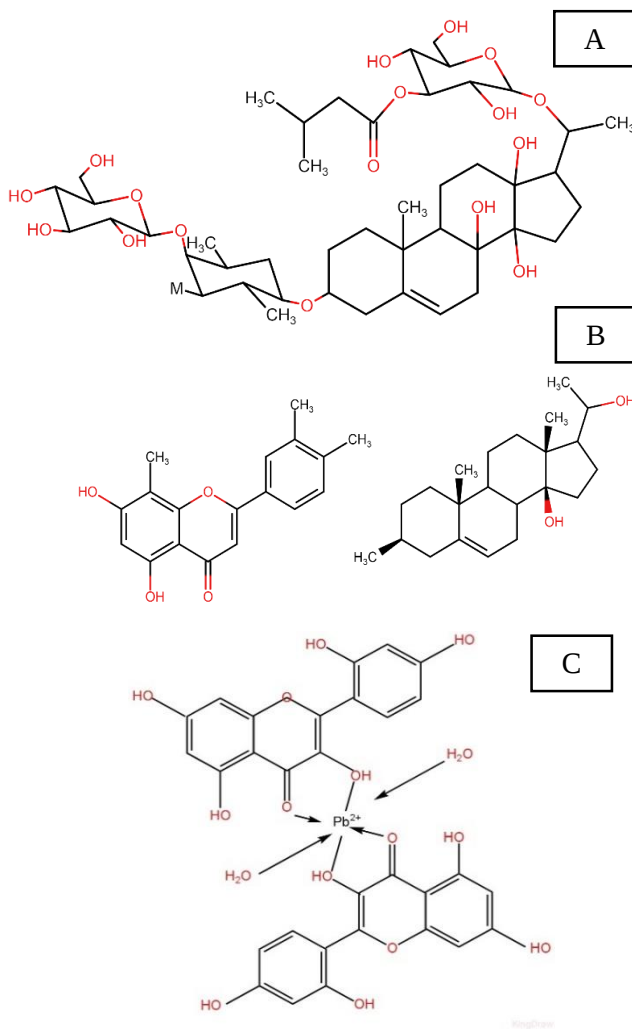
pemulihan dari kondisi terkontaminasi. Semakin panjang masa remediasi maka konsentrasi logam berat yang terserap tanaman semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Samar (2019), bahwasanya usia tanaman dan durasi berada di lingkungan yang terkontaminasi mempunyai pengaruh yang besar terhadap jumlah logam yang terserap (Samar, 2019).

Tahap peresapan timbal (Pb) yang dilakukan oleh akar tanaman disebut dengan rhizofiltrasi. Akar tanaman melepaskan senyawa organik dan enzim eksudat akar, menciptakan rhizosfer yang amat menguntungkan bagi tumbuh kembangnya bakteri. Bakteri bisa memperlaju tahap rhizofiltrasi. Ion yang berasal dari logam bisa larut dalam lemak, menembus membran sel dan mengakumulasi ion logam dalam sel dan jaringan tumbuhan. Logam yang berikatan dengan enzim katalisator dapat menembus ke dalam sel dan mengusik reaksi kimia yang terjadi pada sel (Ronaldo, 2022), sehingga daun lidah mertua berubah warna menjadi kuning. Perubahan warna daun lidah mertua sebelum dan setelah fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perubahan warna daun lidah mertua sebelum dan setelah fitoremediasi

Lidah mertua mengandung bahan aktif yaitu pregnane glikosida. Ion diserap oleh jaringan *sansevieria* dan dibantu oleh pregnane glikosida pada akar (Riksanto, 2021). Struktur pregnane glikosida dapat dilihat pada Gambar 4.5. Rantai samping pada pregnane glikosida, berupa gugus fungsi karbonil, hidroksil, atau gugus fungsi polar lainnya berperan diduga sebagai agen pengkhelat ion logam. Hal ini sebagaimana terjadi pada senyawa flavonoid yang terkenal sebagai agen pengkhelat ion logam (Gambar 4.5). Kadar ion Pb^{2+} pada hasil penelitian ini berkurang, hal ini disebabkan ion Pb^{2+} diduga diikat atau dikhelat oleh gugus fungsi polar rantai samping pada pregnane glikosida. Dugaan ini membutuhkan penelitian lebih lanjut, bahwa pregnane glikosida atau kelompok metabolik sekunder lainnya yang berikatan dengan molekul gula (glukosa) sebagai agen pekhelat ion logam berat.



Gambar 4.5 Mekanisme senyawa metabolik sekunder dengan Pb^{2+} : (a). Struktur pregnane glikosida; (b). Perubahan flavonoid ke glikosida (Choucry, 2021); (c) Reaksi agen khelat dengan Pb^{2+} (Adhikari, 2018)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan % massa akumulasi logam berat timbal (Pb) pada waktu remediasi hari ke-0 sebesar 0%; hari ke-5 sebesar 0,40 %; hari ke-10 sebesar 0,06%; dan hari ke 15 sebesar 1,46%.

B.Saran

Penelitian berikutnya diharapkan untuk melakukan pengkajian kembali mengenai fitoremediasi menggunakan lidah mertua pada variasi waktu yang lebih lama dengan pengecekan kadar logam pada bagian daun dan akarnya. Agar mengetahui kadar penyerapan logam maksimum pada bagian akar atau daunnya. Dugaan mengenai pregnane glikosida atau kelompok metabolik sekunder lainnya yang berikatan dengan molekul gula (glukosa) sebagai agen pekhelat ion logam berat juga dapat menjadi penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar dkk. 2017. *A review on Heavy metals contamination in Water and soil: effects, sources and phytoremediation techniques*. Nigeria: Bayero universitas kano
- Abduh, Nasir. 2018. *Ilmu dan Rekayasa Lingkungan*. Makassar : CV. Sah Media
- Adhikari, Aniruddha dkk. 2018. *Spectroscopic Studies on Dual Role of Natural Flavonoids in Detoxification of Lead Poisoning: Bench-to-Bedside Preclinical Trial*. India: American Chemical Society
- Alamsyah, amil. 2021. *Analisa scanning elektron microscope (SEM) hasil pot weldiing aluminium (Al) dengan penambahan serbuk tembaga (Cu) mesh 60*. Surakarta: Universitas Muhamaddiyah Surakarta
- Andania. 2023. *Isolasi dan identifikasi struktur senyawa kimia aktif antibakteri dari kapang endofit daun lidah mertua (Sansevieria trifasciata Prain) dengan kode DTSTK-2*. Jakarta: Universitas Pancasila
- Anisa, Nurul. 2021. *Analisis logam berat timbal (Pb), Cadmium (Cd) dan Cromium (Cr) di sungai Way tiplek tanjung bintang Lampung selatan*. Lampung: UIN raden intan
- Ardyanto, Denny. 2005. *Deteksi pencemaran timah hitam (Pb) dalam darah masyarakat yang terpajan timbal (plumbum)*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Avivah, Lilis. 2018. *Karakterisasi morfologi permukaan beads alginat selulosa xantat dengan variasi berat porogen CaCO_3* . Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim
- Bintan, Geo Aghni dkk. 2020. *Mekanisme Fitoremediasi: Review*. Cilacap: Politeknik Negeri Cilacap
- Choucry, mouchira dkk. 2021. *New Pregnane Glycosides Isolated from Caralluma hexagona Lavranos as Inhibitors of α -Glucosidase, Pancreatic Lipase, and Advanced Glycation End Products Formation*: American Chemical Society
- Dwflorenti, ghea. 2021. *Fitoremediasi logam Hg tanah pasca pertambangan emas kecamatan singingi hilir*

- menggunakan *helianthus annuus. L* dan *Sansevieria trifasciata P.* dengan penambahan bahan organik. Pekanbaru: UIN Sultan Syarif Kasim Riau
- Endang, lilis. 2018. *Penanggulangan limbah*. Yogyakarta: CV budi utama
- Fathoni, Achmad aji. 2020. *Fitoremediasi logam berat (Zn) menggunakan tanaman eceng gondok (Eichhornia crassipes) dengan sistem batch*. Surabaya: UIN Sunan Ampel Surabaya
- Ganing, William. 2021. *Kualitas penyerapan tanaman lidah mertua (Sansevieria sp) sebagai fitoremediasi untuk mereduksi pencemaran karbonmonoksida (CO)*. Makassar: universitas Hasanudin makassar
- Habibi, adil et al. 2018. *Pengaruh Limbah terhadap lingkungan dan penyakit yang timbul serta penanggulangannya*. Tegal: Universitas Pancasakti.
- Hardinawati. 2017. *Analisis Kandungan Logam Berat Timbal(Pb) pada Hati, Daging dan Kulit Ikan Baronang di Pulau Lae-Lae*. Makassar : UIN Alauddin Makassar
- Haryanti, Endang tiris et al. 2020. *Analisis Cemar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (Lutjanus sp.) Di TPI Kluwut Brebes*. Semarang: unnes
- Herniwanti. 2021. *Fitoremediasi Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (Phytoremediation of Acid Mine Drainage Management)*. solok:Mitra Cendekia Media
- Husna, Nurul asmaul. 2020. *Hubungan ada timbal (Pb) di udara dengan gangguan kesehatan pada pedagang kaki lima di jalan perintis kemerdekaan km 10 kota Makassar*. Makassar: Universitas Hasanuddin Makassar
- Ifada, rifatul dkk. 2016. *Pengaruh ekstrak daun lidah mertua (Sansevieria trifasciata laurentii) terhadap kadar hemoglobin tikus putih jantan (Rattus norvegicus strain wistar) yang diinduksi timbal per-oral*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang
- Jenny. 2015. *Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) menggunakan Tanaman Melati Air (Echinodorus Palaefolius) pada*

- Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan*.
Surabaya: Institut teknologi Adhi Tama
- Kodoatie et al. 2010. *Tata ruang air*. Yogyakarta:CV Andi offset.
- Larasati dkk. 2022. *Penerapan prinsip pencemaran membayar terhadap pencemaran limbah bahan berbahaya dan beracun (B3)*. Bali: Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja
- Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran : Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan*. Yogyakarta : Deepublish
- Mingorance, M.D. 2012. *Evaluation of Lead toxicity in erica andevalensis as an alternative species for revegetation of contaminated soils*. Seville : University Seville
- Mirjankar, Manisha R. 2021. *Garlic and cilantro assisted phytoextraction of zinc using Sansevieria roxburghiana from contaminated soil*. Karnataka: REVA University
- Moosavi, Seyyed dkk. 2013. *Phytoremediation: A review*. Birjand: Azad University
- Muhammad Arief. 2016. *Pengolahan Limbah Industri* , Yogyakarta: CV. Andi
- Nindyapuspa, ayu. 2017. *Distribusi logam berat timbal di perairan laut kawasan pesisir Gresik*. Surabaya. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
- Nugroho jati dkk, 2016 *Efektivitas penyerapan timbal (Pb) menggunakan penambahan mikoriza dan EDTA pada bunga matahari (Helianthus annuus LINN)*. Yogyakarta: Universitas atma jaya
- Nurcholisoh. 2015. *Efektivitas tanaman antagonis lidah mertua (Sansevieria trifasciata) terhadap penyakit jamur akar putih (Rigidoporus lignosus) pada tanaman karet di Balangan*. Banjarmasin: Universitas lambung mangkurat
- Oktavia, zulfa. 2016. *Pengaruh variasi lama kontak fitoremediasi tanaman kiambang (Salvinia molesta) terhadap kadar kadmium (Cd) pada limbah cair Home industry batik "X" Magelang*. Semarang. UNDIP
- Pandey, 2019. *Phytoremediation: from theory toward practice*. Lucknow. Babasaheb Bhimrao Ambedkar University

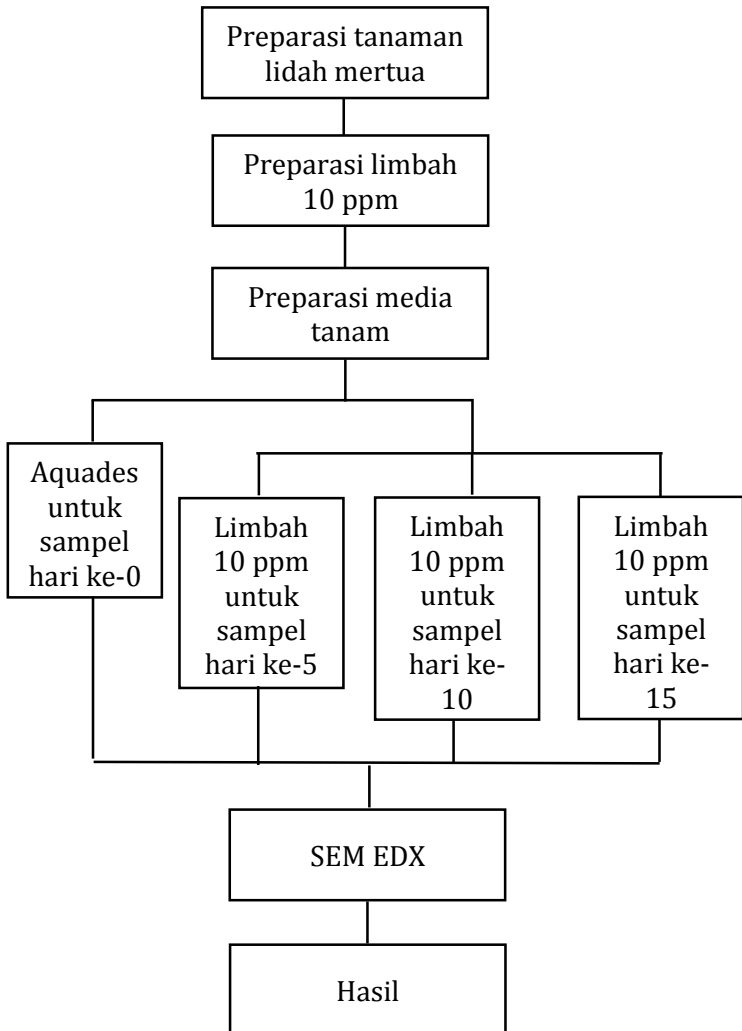
- Pant, harsh dkk. 2020. *Lead toxicity in plants and phytoremediation potential of aromatic plants for Lead contaminated soils*. Mumbai : Universitas mumbai
- Puji. 2011. *Studi kerabatan tanaman lidah mertua (Sansevieria trifasciata L. Wild type) pada ketinggian tempat yang berada di malang raya berdasarkan analisis RAPD*. Malang: Universitas Brawijaya
- Putra, Ringgo Agam. 2018. *Bioakumulasi logam berat Pb, Zn, dan Cu pada tanaman Sansevieria Trifasciata di universitas islam Indonesia*. Yogyakarta: universitas islam Indonesia
- Putri, Ardistrya desyanti. 2021. *Fitoremediasi tanah tercemar logam timbal dan kadmium dengan tumbuhan lidah mertua pada media tanah berkompos*. Makasar: Universitas Hasanudin
- Putri nuriah,T.S. 2020. *Analisis Logam Berat Timbal (Pb) pada Rambut Karyawan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU)*. Jombang: Stikes Insan Cendekia Medika Jombang
- Rahmadi, adi dkk. 2022. *Buku ajar pemanfaatan limbah industri*. Banjarbaru: CV banyubening cipta sejahtera
- Ratnawati, rhenny et al. 2018. *Fitoremediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) menggunakan tanaman lidah mertua (sansevieria trifasciata) dan jengger ayam (celosia plumosa)*. Surabaya: Universitas PGRI adi Buana
- Riksanto, Rolly dkk. 2021. *Pengaruh ekstrak lidah mertua (Sansevieria trifasciata) dalam menurunkan kadar karbon monoksida akibat asap sidestream rokok filter*. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar
- Riyanto, 2013, *Limbah bahan berbahaya dan beracun*, Yogyakarta: CV budi utama
- Rukaesih. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: C.V Andi Offset
- Rusmiati dkk, 2019. *Penurunan angka kapang udara ruang melalui modifikasi humidifier dengan larutan ekstrak lidah mertua (sansevieria sp)*
- Rompegading dkk. 2021. *Pengujian awal potensi tanaman lidah mertua (Sansevieria trifasciata) dalam pemanfaatannya sebagai fitoremediasi terhadap tanah yang tercemar logam Cu*. Wajo: Universitas Puangrimaggalatung

- Ronaldo, Harun. 2022. *Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (Echinodorus Palifolius)*. Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
- Sahdiah dkk. 2023. *Optimasi Tegangan akselerasi pada scanning elektron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM EDX) untuk pengamatan morfologi sampel biologi*. Malang: Universitas Negeri Malang
- Samar, Y.S dkk. 2019. *Fitoremediasi merkuri (Hg) menggunakan tanaman kacang kalopo (Calopogonium mucunoides)*. Ambon : Universitas Patimura
- Sehrawat, Gayatri. 2021. *Tolerance of three ornamental plant species to Chromium contamination in soil and their potential for phytoextraction and phytostabilization of the toxic metal*. New Delhi: Indraprastha University
- Soeka, yati sundaryati dkk.2007. Aktivitas antimikroba flavonoid-glikosida hasil sintesis secara transglukosilasi enzimatik. Cibinong. LIPI
- Sujatno, Agus dkk. 2015. *Studi scanning elektron microscopy (SEM) untuk karakteristik proses oksidasi paduan zirkonium*. PSTBM BATAN
- Sulistya Endah dkk. 2024. *Teknik bioremediasi sebagai solusi dalam upaya pengendalian pencemaran lingkungan: literatur review*. Semarang: Universitas PGRI Semarang
- Supriadi. 2016. *Analisis kadar logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan merkuri (Hg) pada air laut di wisata pantai akkarena dan tanjung bayang Makassar*. Makassar: UIN Alauddin Makassar
- Supriharyono. 2002. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Susilawati. 2019. *Dasar-dasar bertanam secara hidroponik*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Suyasa, wayan budiarsa. 2015. *Pencemaran air & pengolahan air limbah*. Denpasar: udayana universitas Press
- Wicaksono, rizky. 2024. *Effectiveness of pregnane glycoside compound extracts from sansevieria trifasciata laurentii*

- and sansevieria trifasciata plants in reducing carbon monoxide gas.* Malang: Brawijaya University
- Widyasari, In Luh. 2021. *Kajian Tanaman Hiperakumulator pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat.* Denpasar: Universitas Mahasaraswati Denpasar
- Widyasari, Ni Luk dkk. 2024. *Study of controlling The content of Pb, Cu, Cd, and Cr Ni soils pusing hyperaccumulator plants.* Bali : Universitas Udayana
- Widyati, Enny. 2009. *Kajian fitoremediasi sebagai salah satu upaya menurunkan akumulasi logam akibat air asam tambang pada lahan bekas tambang batubara.* Bogor: Pusat litbang hutan dan konservasi alam
- Wijana Nyoman. 2014. *Biologi dan Lingkungan,* Yogyakarta: Plantaxia
- Yusbarina dkk. 2013. *Penurunan Kadar Limbah Logam Timbal (Pb) dengan Metode Khelasi menggunakan Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi).* Riau: UIN Sultan Syarif Kasim

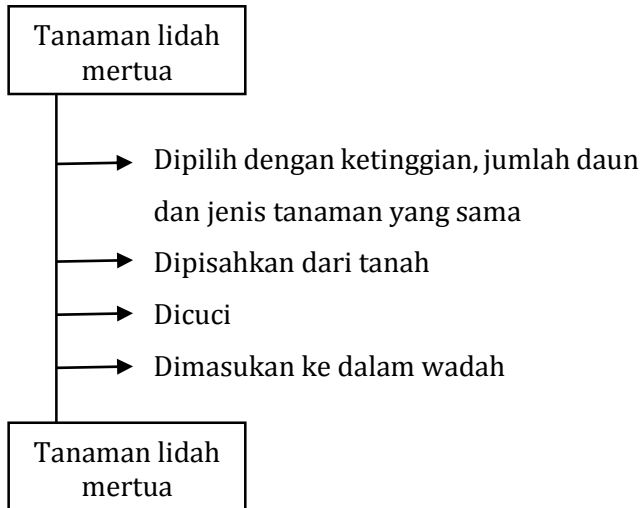
LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Prosedur Kerja

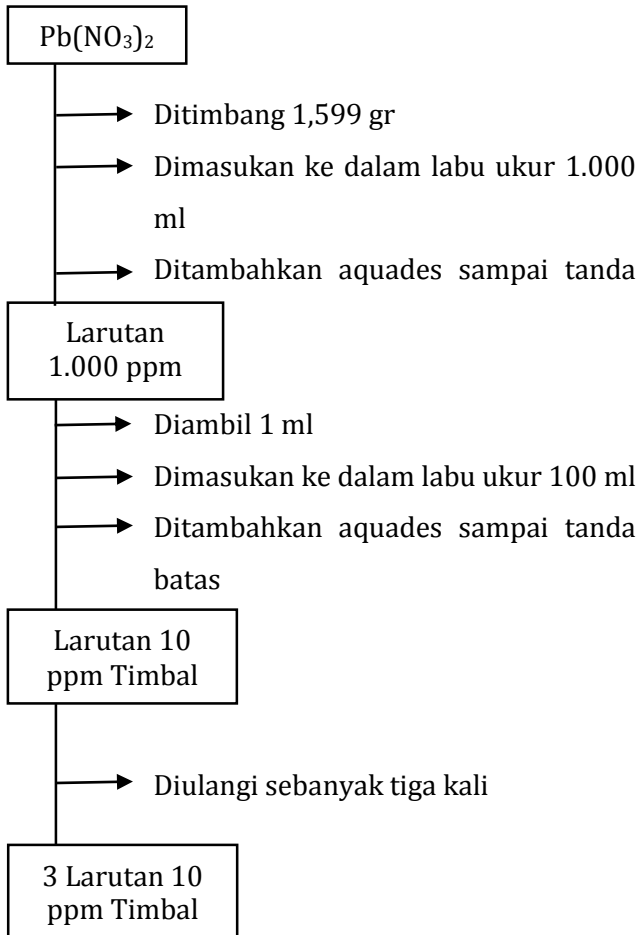


Lampiran 2. Diagram alir prosedur kerja

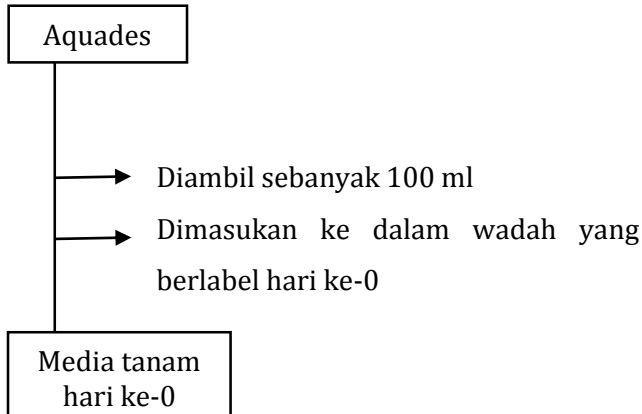
A. Preparasi tanaman lidah mertua



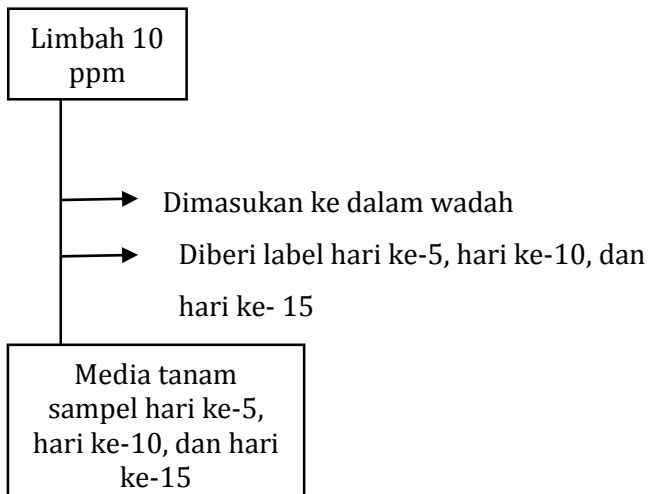
B. Pembuatan limbah 10 ppm



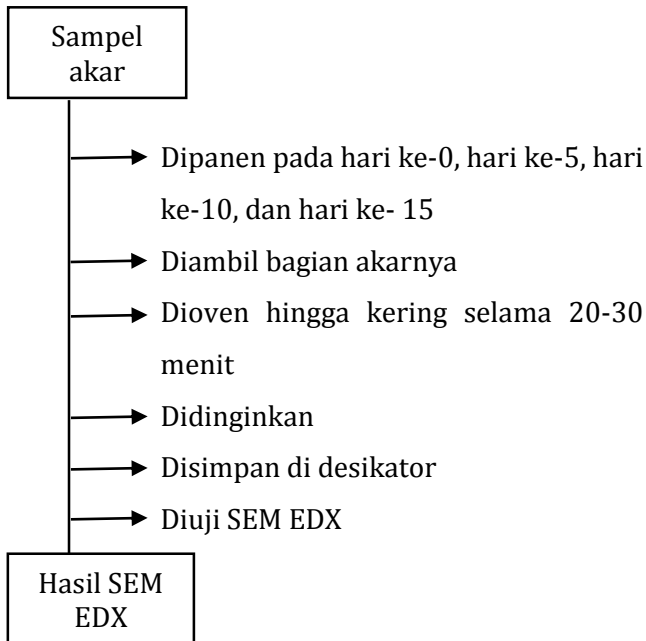
C. Penyiapan media tanam hari ke-0



D. Penyiapan media tanam sampel hari ke-5, hari ke-10, dan hari ke-15



E. Perlakuan



Lampiran 3. Analisa Data

A. Perhitungan pembuatan larutan 1000 ppm

Timbal

$$\text{Mr Pb(NO}_3)_2 = 331,2 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Pb} = 207,19 \text{ g/mol}$$

$$= \frac{\text{Mr Pb(NO}_3)_2}{\text{Ar Pb}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= \frac{331,29 \text{ g/mol}}{207,19 \text{ g/mol}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= 1598,97 \text{ mg}$$

$$= 1,59897 \text{ gram}$$

Jadi 1,59897 gram Pb (NO₃)₂ dilarutkan dalam 1000 ml larutan aquades dan menjadi larutan baku Pb 1000 mg/L

B. Perhitungan pembuatan Larutan Timbal 10 ppm dari 1000 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ mg/L} = 10 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

Jadi larutan standar 10 mg/L dibuat dengan 1 mL larutan 1000 mg/L yang diencerkan dalam labu takar 100 mL

Lampiran 4. Hasil EDX

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	51.54	55.40
6	C	Carbon	37.21	30.02
14	Si	Silicon	4.21	7.94
7	N	Nitrogen	7.05	6.63

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	44.92	50.22
6	C	Carbon	43.08	36.16
7	N	Nitrogen	10.46	10.23
14	Si	Silicon	1.52	2.99
82	Pb	Lead	0.03	0.40

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	57.89	49.15
8	O	Oxygen	38.25	43.26
13	Al	Aluminium	2.04	3.89
14	Si	Silicon	1.78	3.54
22	Ti	Titanium	0.03	0.10
82	Pb	Lead	0.00	0.06

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	57.67	48.15
8	O	Oxygen	39.05	43.43
14	Si	Silicon	1.53	2.99
13	Al	Aluminium	1.50	2.82
82	Pb	Lead	0.10	1.46
49	In	Indium	0.14	1.15

Lampiran 5. Dokumentasi Percobaan



Tanaman lidah mertua
setelah dan sebelum
fitoremediasi



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



Membuat larutan limbah
10 ppm



Akar hari ke-0



Akar hari ke-5



Akar hari ke-10



Akar hari ke-15



Proses dioven



Akar kering setelah dioven

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama : Elok Nurfaizah
TTL : Tegal, 20 Mei 1999
Alamat : Jln KH.Wahid Hasyim, RT 05
RW 08 Desa Slawi Kulon Kec.
Slawi Kab.Tegal
Telepon : 085712425813
Email : nurfaizah.elok30@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

RA. Perwanida	(2004-2005)
SDN 06 Slawi Kulon	(2005-2011)
MTs NSlawi	(2011-2014)
MAN Babakan Lebaksiu Tegal	(2014-2017)
UIN Walisongo Semarang	(2017-2024)