

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN
TANAMAN KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans Poir*) PADA
TANAH TERCEMAR AIR LINDI DI TPA
REGIONAL BLANG BINTANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

FAHRUL RAMZI

NIM. 150702109

**Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans Poir*) PADA TANAH TERCEMAR AIR LINDI DI TPA REGIONAL BLANG BINTANG

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:

FAHRUL RAMZI

NIM. 150702109

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 15 Juli 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

Ilham Zulfahmi, M.Si
NIP. 198807162020121002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Nur Aida

Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

LEMBAR PENGESAHAN
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN TANAMAN
KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans Poir*) PADA
TANAH TERCEMAR AIR LINDI DI TPA
REGIONAL BLANG BINTANG

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

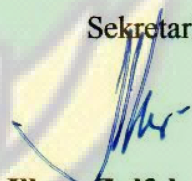
Pada Hari/Tanggal: Kamis, 28 Juli 2022
28 Dzulhijjah 1443

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

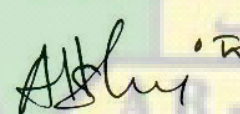
Ketua,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

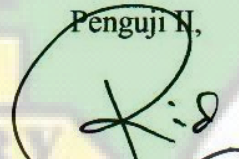
Sekretaris,


Ilham Zulfahmi, M.Si
NIP. 198807162020121002

Penguji I,


Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIP. 198302022015031002

Penguji II,


Muhammad Ridwan Harahap, M.Si.
NIP. 198611272014031003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fahrul Ramzi
NIM : 150702109
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*) Pada Tanah Tercemar Air Lindi di TPA Regional Blang Bintang

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 15 Juli 2022

Yang Menyatakan,



Fahrul Ramzi

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah rabbil`alamin, begitu banyak nikmat yang Allah Swt. berikan, tetapi sedikit sekali yang kita ingat. Segala puji hanya layak untuk Allah Swt. atas segala berkat, rahmat, taufik, serta hidayah-Nya yang tiada terkira besarnya, ayah dan ibu yang telah memberikan dukungan, doa, kasih sayang, dan cinta yang tak terhingga sehingga penulis mampu menyusun tugas akhir ini sebagaimana mestinya. sehingga penulis berhasil menyusun tugas akhir yang berjudul “Efektivitas Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) Pada Tanah Tercemar Air Lindi di TPA Blang Bintang”. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Dalam penyusunan tugas akhir penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak, baik yang bersifat moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis tak lupa mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Azhar Amsal, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si selaku Ketua Program Studi Ilmu Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Husnawati Yahya, M.Sc. Selaku koordinator tugas akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Dr. Irhamni, ST., MT dan Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc Selaku pembimbing I yang senantiasa memberikan masukan dan ikut membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Ilham Zulfahmi, M.Si Selaku pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan dan ikut membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

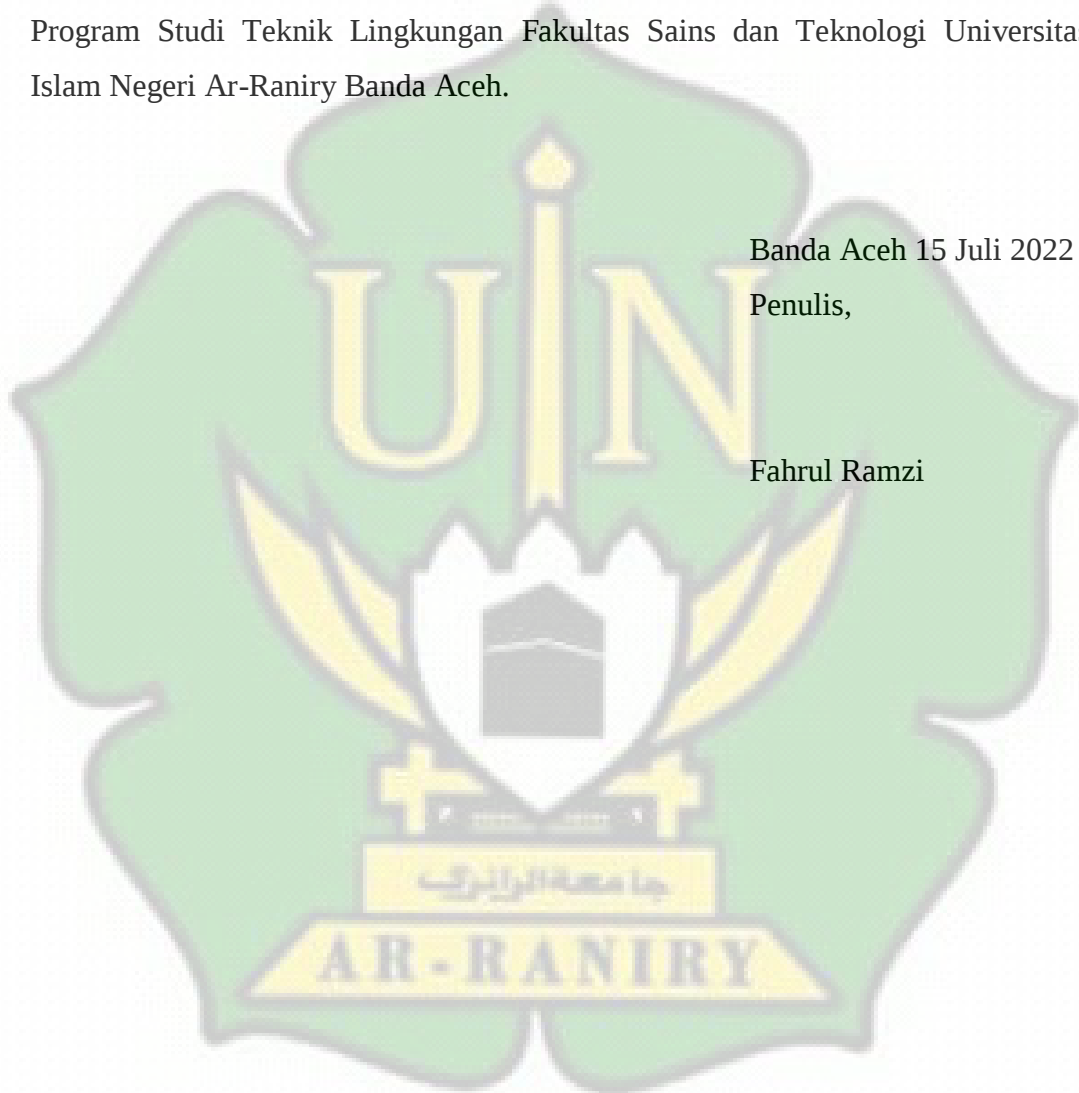
6. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulis selama ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan di dalam tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak sebagai bahan ilmu pengetahuan, khususnya bagi Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh 15 Juli 2022

Penulis,

Fahrul Ramzi



ABSTRAK

Nama : Fahrul Ramzi
NIM : 150702109
Program Studi : Ilmu Teknik Lingkungan
Judul : Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*) Pada Tanah Tercemar Air Lindi Di TPA Regional Blang Bintang
Tebal Tugas Akhir : 80 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Pembimbing II : Ilham Zulfahmi, M.Si
Kata Kunci : Fitoremediasi, Logam Berat Besi (Fe), Lindi

Logam berat merupakan zat pencemar berbahaya karena memiliki sifat logam yang tidak dapat terurai dan mudah diabsorpsi. Konsentrasi logam berat tinggi pada lingkungan menyebabkan kerusakan lingkungan dan meningkatkan daya toksisitas logam. Salah satu jenis logam berat yang mencemari TPA Regional Blang Bintang yaitu logam berat besi (Fe). Tanaman kangkung darat merupakan salah satu tanaman hiperakumulator logam karena mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi logam. Penelitian ini bertujuan untuk menguji fitoremediasi Fe oleh tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) pada tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang. Jenis penelitian yaitu deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian tidak dilakukan di laboratorium melainkan dilakukan secara langsung di lapangan dan tidak menggunakan kelompok kontrol karena tidak bertujuan membandingkan melainkan mengetahui kemampuan fitoremediasi kangkung darat. Pelaksanaan penelitian yaitu: (a) pengambilan sampel awal tanah tercemar air lindi; (b) pembuatan plot media tanam; (c) aklimatisasi tanaman kangkung darat; (d) penanaman tanaman kangkung darat di lokasi penelitian. Analisis data yaitu: (a) analisa sampel tanah tercemar air lindi; (b) analisa sampel tanaman kangkung darat; (c) analisa biokonsentrasi faktor (BCF) dan translokasi faktor (TF; dan (d) analisa morfologi tanaman. Hasil penelitian yaitu kandungan Fe akar hari ke 3 yaitu 8,935 mg/kg, hari ke 6 yaitu 10,282 mg/kg, hari ke 9 yaitu 11,096 mg/kg, dan hari ke 12 yaitu 12,063 mg/kg. Pada batang hari ke 3 yaitu 7,304 mg/kg, hari ke 6 yaitu 8,015 mg/kg, hari ke 9 yaitu 8,881 mg/kg, hari ke 11 yaitu 12,507 mg/kg. Pada daun hari ke 3 yaitu 4,103 mg/kg, hari ke 6 yaitu 4,546 mg/kg, hari ke 9 yaitu 5,127 mg/kg, dan hari ke 12 yaitu 8,148 mg/kg. Nilai Biokonsentrasi Faktor (BCF) yaitu $0,007 < 1$ (akumulator excluder), nilai Translokasi Faktor (TF) yaitu $0,517 < 1$ (fitostabilisasi). Morfologi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) selama masa penyerapan Fe di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar menunjukkan proses pertumbuhan yang baik.

ABSTRACT

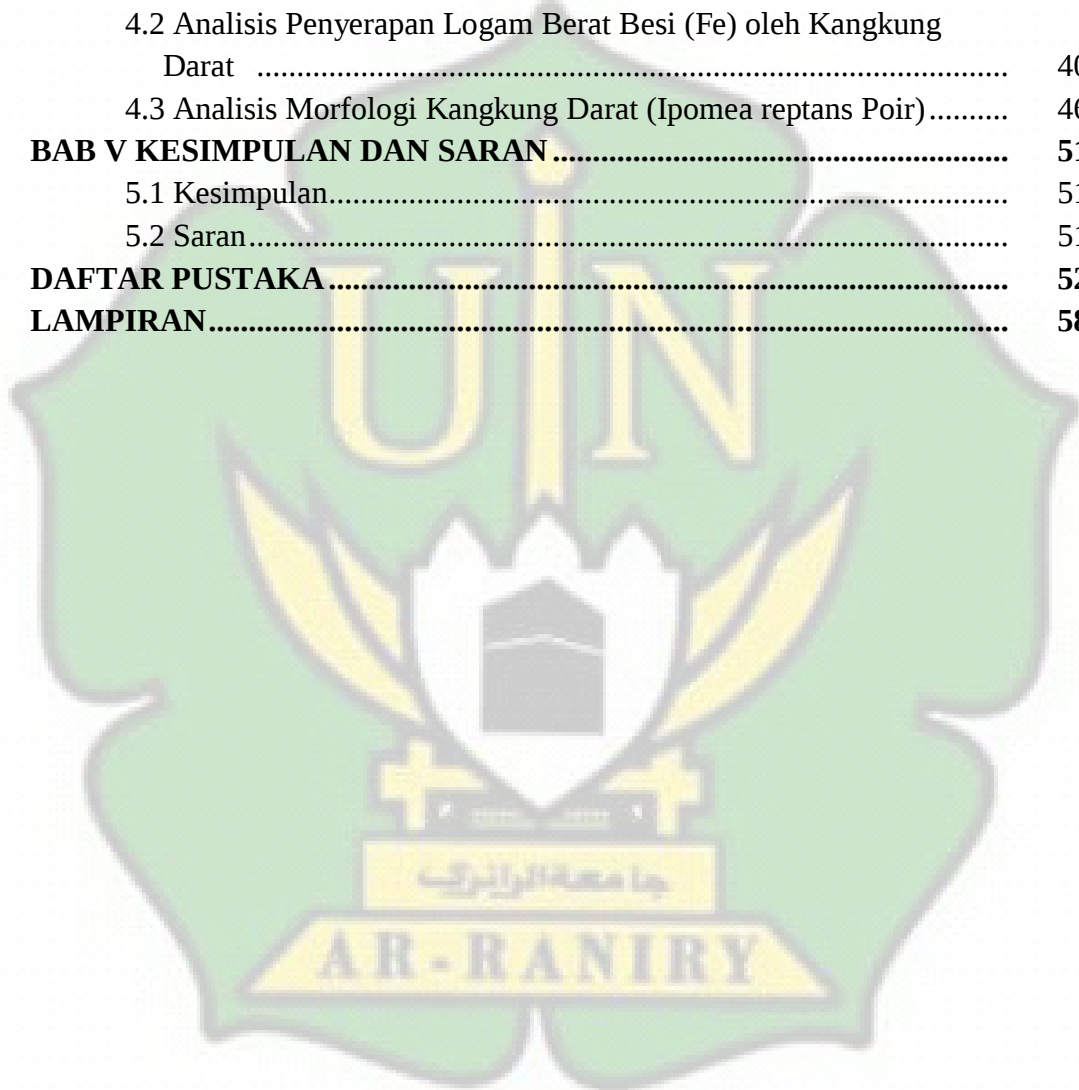
Name : Fahrul Ramzi
NIM : 150702109
Study Program : Environmental Engineering
Title : Phytoremediation of Heavy Metal Iron (Fe) Using Land Kale Plants (*Ipomea Reptans Poir*) On Leachate-Contaminated Soil at the Blang Bintang Regional Landfill
Number of Pages : 80 Pages
Thesis Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Thesis Advisor II : Ilham Zulfahmi, M.Si
Keywords : Phytoremediation, Heavy Metals Iron (Fe), Leachate

Heavy metals are dangerous pollutants because they have metallic properties that cannot be decomposed and are easily absorbed. High heavy metals in the environment cause environmental damage and increase the toxicity of metals. One type of heavy metal that pollutes the Blang Bintang Regional TPA is iron (Fe). Water spinach plant is one of the metal hyperaccumulator plants because it has the ability to accumulate metals. This study aims to examine the phytoremediation of heavy metal iron (Fe) by land kangkung (*Ipomea reptans Poir*) on leachate contaminated soil at the Blang Bintang Regional TPA. This type of research is descriptive with a quantitative approach. The research was not carried out in the laboratory but directly in the field and did not use a control group because it did not aim to compare but to know the phytoremediation ability of land spinach. The implementation of the research are: (a) initial sampling of soil contaminated with leachate; (b) making planting media plots; (c) land kangkung plant acclimatization; (d) planting land kangkung in the research location. Data analysis are: (a) analysis of soil samples contaminated with leachate; (b) analysis of land kangkung plant samples; (c) analysis of factor bioconcentration (BCF) and factor translocation (TF); and (d) analysis of plant morphology. The results of the study were the heavy metal content of iron (Fe) root on day 3 (8.935 mg/kg), day 6 (10.282 mg/kg), day 9 (11.096 mg/kg), day 12 (12.063 mg/kg) On stem day 3 (7.304 mg/kg), day 6 (8.015 mg/kg), day 9 (8.881 mg/kg), day 11 (12.507 mg/kg), on day 3 (4.103 mg/kg), day 6 (4.546 mg/kg), day 9 (5.127 mg/kg), day 12 (8.148 mg/kg) Factor Bioconcentration Value (BCF) $0.007 < 1$ (accumulator excluder), Translocation Factor (TF) value $0.517 < 1$ (phytostabilization). Morphology of land kangkung (*Ipomea reptans Poir*) during the metal absorption period The weight of iron (Fe) in the Blang Bintang Regional TPA, Aceh Besar Regency showed a good growth process.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
 BAB I : PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fitoremediasi	5
2.1.1 Pengertian Fitoremediasi	5
2.1.2 Mekanisme Fitoremediasi.....	8
2.2 Logam Berat	12
2.2.1 Pengertian Logam Berat	12
2.2.2 Toksisitas Logam Berat Besi (Fe)	14
2.3 Kangkung Darat (<i>Ipomea reptans Poir</i>).....	17
2.4 Lindi.....	20
2.4.1 Pengertian Lindi	20
2.4.2 Komposiss Karakteristik Lindi.....	21
2.4.3 Mekanisme Lindi.....	24
2.4.4 Parameter Air Lindi	26
2.4.5 Bahaya Air Lindi	29
BAB III : METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Bagan Alir Penelitian	31
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	33
3.3 Metode Penelitian.....	33
3.4 Variabel Penelitian	34
3.5 Alat-alat	34
3.6 Pelaksanaan Penelitian	35
3.6.1 Pengambilan Sampel awal	35

3.6.2 Pembuatan Plot Media Tanam.....	35
3.6.3 Aklimatisasi Tanaman.....	35
3.6.4 Penanaman Tanaman Kangkung Darat	36
3.6.5 Analisa Sampel.....	36
3.7 Analisa BCF dan TF.....	37
3.8 Analisis Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Analisis Sampel Awal	39
4.2 Analisis Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) oleh Kangkung Darat	40
4.3 Analisis Morfologi Kangkung Darat (<i>Ipomea reptans</i> Poir).....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	58



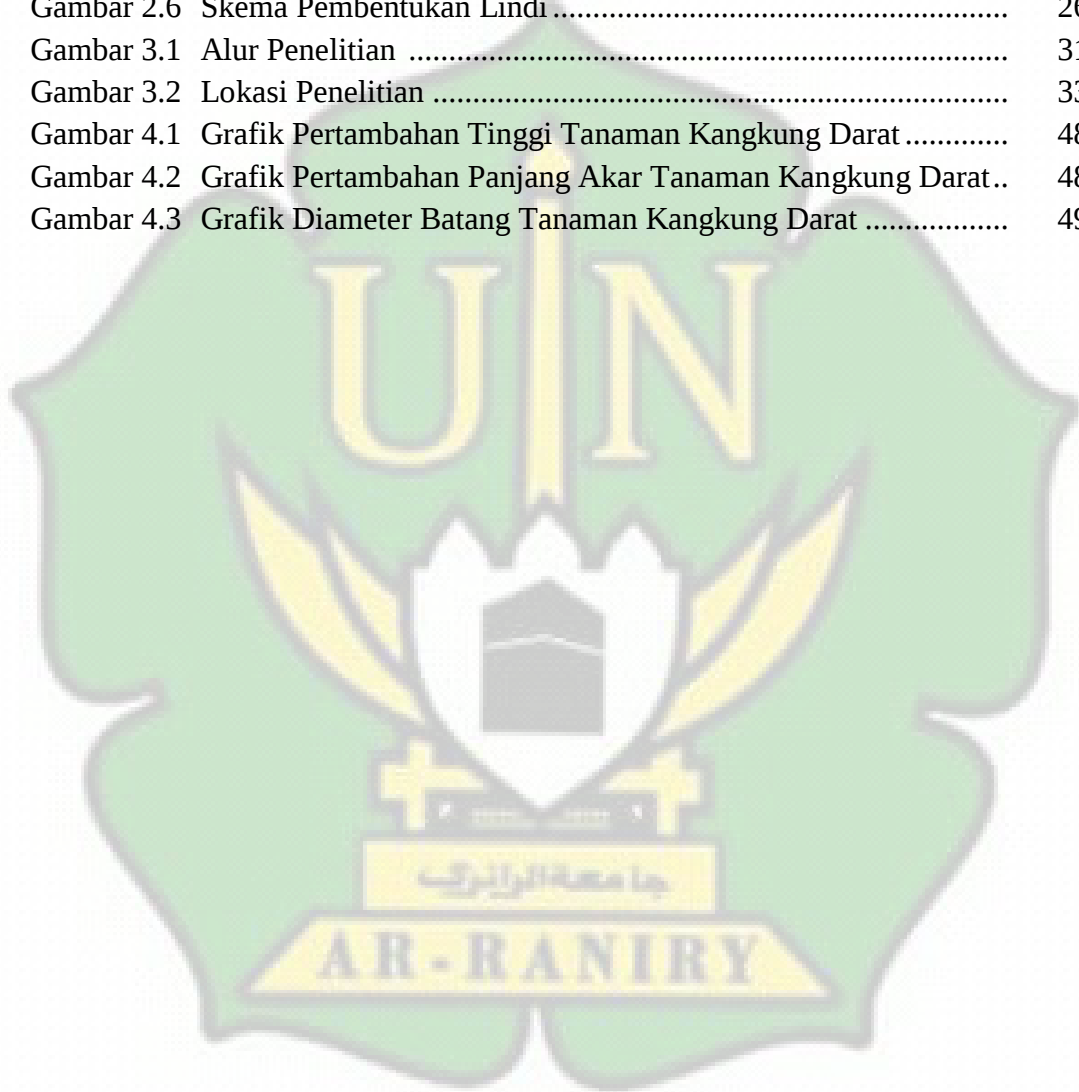
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Kangkung Darat (<i>Ipomea reptans Poir</i>).....	19
Tabel 2.2 Baku Mutu Air Lindi	21
Tabel 2.3 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur <i>Landfill</i>	23
Tabel 2.4 Tipikal Konsentrasi Lindi Muda dan Tua.....	24
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian	34
Tabel 4.1 Hasil Uji Sampel Awal Tanah Air Lindi	39
Tabel 4.2 Daya Serap Fe dan Lama Waktu Tinggal Oleh Kangkung Darat ...	41
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Biokonsentrasi Faktor (BFC).....	44
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Translokasi Faktor (TF)	45
Tabel 4.5 Parameter Morfologi Tanaman Kangkung Darat	47



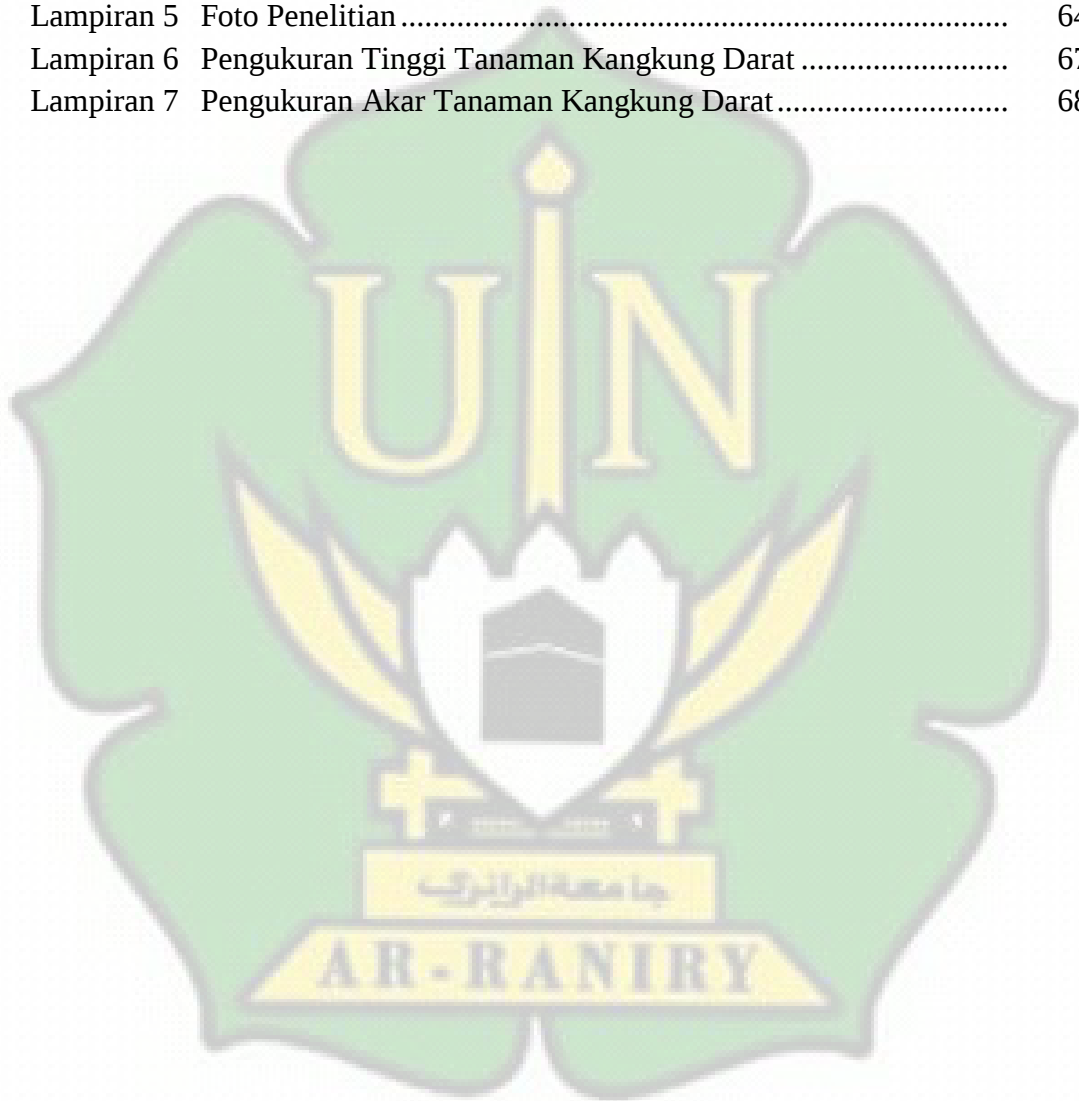
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Fitoremediasi Tanaman Menyerap Polutan	7
Gambar 2.2	Mekanisme Rizofiltrasi, Fitotransformasi dan Fitovolatilisasi...	12
Gambar 2.3	Perilaku Logam Berat di Lingkungan.....	14
Gambar 2.4	Kangkung Darat (<i>Ipomea reptans Poir</i>)	16
Gambar 2.6	Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom	19
Gambar 2.6	Skema Pembentukan Lindi	26
Gambar 3.1	Alur Penelitian	31
Gambar 3.2	Lokasi Penelitian	33
Gambar 4.1	Grafik Pertambahan Tinggi Tanaman Kangkung Darat	48
Gambar 4.2	Grafik Pertambahan Panjang Akar Tanaman Kangkung Darat..	48
Gambar 4.3	Grafik Diameter Batang Tanaman Kangkung Darat	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	58
Lampiran 2	Hasil Uji Sampel Awal	59
Lampiran 3	Hasil Uji Laboratorium Konsentrasi Fe Pada Kangkung Darat Setelah Perlakuan.....	60
Lampiran 4	Hasil Perhitungan BCF dan TF	61
Lampiran 5	Foto Penelitian	64
Lampiran 6	Pengukuran Tinggi Tanaman Kangkung Darat	67
Lampiran 7	Pengukuran Akar Tanaman Kangkung Darat	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk serta pesatnya urbanisasi merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya volume sampah perkotaan yang membuat tuntutan akan perlunya sistem pengolahan sampah yang baik semakin tinggi. Sampah bukan saja masalah regional dan nasional, tetapi telah menjadi masalah seluruh dunia. Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan berdampak buruk bagi kesehatan lingkungan, seperti terjadinya pencemaran air, mengurangi nilai estetika suatu daerah, serta dapat berdampak buruk bagi kesehatan, khususnya pencemaran logam berat. Pencemaran yang disebabkan logam berat merupakan masalah serius yang harus diberi perhatian khusus karena memiliki sifat logam yang tidak dapat terurai dan mudah diabsorpsi oleh biota. Dalam jangka waktu yang relatif singkat logam berat tidak memberikan pengaruh yang besar, tetapi akan berdampak fatal dalam jangka waktu yang panjang (Irhamni, 2009).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat yang digunakan untuk pengelolaan sampah pada tahap akhir. Proses pengelolaan sampah dimulai dari pertama kali sampah dihasilkan (berasal dari sumbernya), dikumpulkan, diangkut, lalu dilakukan proses pengelolaan hingga diurug (Hasibuan, 2019). TPA Blang Bintang terletak di Desa Data Makmur, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar yang bernama UPTD BPSR (Balai Penanganan Sampah Regional) di bawah Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Aceh. Pembuangan sampah yang secara rutin ke TPA dapat menimbulkan pencemaran di lingkungan sekitar TPA dan aliran sungai yang ada di dekatnya. Dalam proses berjalanya TPA, air lindi merupakan permasalahan yang harus diberi perhatian khusus agar nantinya tidak terjadi pencemaran air dan tanah. Banyak cara yang sudah dilakukan oleh setiap TPA dalam mengurangi pencemaran air lindi, seperti menggunakan membran, pengolahan air lindi itu sendiri, serta penggunaan tanaman untuk mengakumulasi zat pencemar dari air lindi agar aman bagi lingkungan.

Salah satu pencemaran lingkungan yang sering terjadi disekitar TPA adalah pencemaran tanah, umumnya tanah di sekitar TPA sering tercemar akibat

air lindi yang dihasilkan dari TPA. Lindi ada yang dapat terinfiltrasi ke dalam tanah dan sebagian ada yang mengikuti aliran run off. Jika kontaminan yang terdapat pada lindi terlalu tinggi maka akan mempengaruhi kualitas dan akan mencemari tanah maupun air sungai yang berada di sekitar TPA. Salah satu cara untuk mengatasi pencemaran pada tanah yang diakibatkan oleh limbah lindi adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah teknologi yang menggunakan vegetasi tanaman untuk menghilangkan dan memperbaiki kondisi tanah, lumpur, kolam dan sungai dari kontaminan pencemar. Tanaman yang digunakan mempunyai bentuk beraneka ragam, seperti alang-alang, eceng gondok, lidah mertua, jengger ayam dan tanaman kangkung darat (Khairuddin, dkk., 2017).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Putra (2017) penyerapan logam berat pada tanah yang tercemar menggunakan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman kangkung darat. Dari penelitian yang dilakukan, kangkung darat berumur 2 minggu mampu menyerap logam berat Tembaga (Cu) dengan konsentrasi pada akar sebanyak 5,3403 ppm, batang 5,1117 ppm, dan daun 2,6637 ppm pada usia 4 minggu berturut turut pada akar, batang, dan daun yaitu 10,6998, 5,8281, dan 2,066 ppm. Sedangkan pada usia 6 minggu pada akar 10,4605 ppm, batang 9,1605 ppm dan pada daun 7,7839 ppm. Penelitian putra dilakukan dengan skala lab dengan menggunakan tanah tercemar Cu dibawa untuk diberi perlakuan, kangkung darat mampu menyerap tembaga dengan baik. Namun belum ada penelitian yang membuktikan bahwa kangkung darat mampu menyerap logam berat ketika diaplikasikan langsung dilapangan, hal inilah yang membuat peneliti merasa tertarik untuk mencoba mengamati bagaimana kemampuan kangkung darat dalam menyerap logam berat, pengaruh lama waktu tinggal terhadap kemampuan penyerapannya serta dampak yang ditimbulkan logam berat terhadap pertumbuhan kangkung darat, sehingga nantinya dapat ditarik suatu kesimpulan mengenai kemampuan kangkung darat dalam menyerap logam berat pada tanah tercemar air lindi.

Sebelum melakukan penelitian, peneliti melakukan uji pendahuluan kandungan logam berat pada tanah yang tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang di Balai Riset dan Standarisasi Industri Aceh (Baristand), dari hasil pengujian logam berat tertinggi adalah Fe dengan konsentrasi 1.150,56 mg/kg,

menurut Permen LHK Nomor. 59 tahun 2016 konsentrasi tersebut telah melewati ambang batas yang diperbolehkan. Tingginya kandungan Fe pada TPA Regional Blang Bintang tersebut tentu menjadikan suatu ancaman bagi lingkungan sekitar. Efluen dari proses pengolahan harus memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair yang telah ditetapkan, sehingga akan mengurangi tingkat pencemaran dari limbah air lindi terhadap air tanah dan air permukaan disekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA), ataupun mencemari tanah dan air tanah yang dilewati oleh aliran lindi.

Seperti diketahui bahwa Fe merupakan golongan logam berat yang dapat menjadi toksin bagi kesehatan makhluk hidup dan lingkungan. Atas dasar pertimbangan tersebut diatas maka peneliti merasa perlu dilakukannya proses pengolahan terhadap tanah yang tercemar Fe dari limbah air lindi, yang diketahui mengandung konsentrasi Fe yang tinggi. Sehingga perlu adanya upaya perbaikan lingkungan sehingga peneliti merasa perlu untuk melakukan penelitian dengan judul “Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea Reptans Poir*) Pada Tanah Tercemar Air Lindi Di Tpa Regional Blang Bintang”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan daya serap tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) terhadap Fe pada tanah tercemar air lindi?
2. Bagaimana pengaruh lama waktu tinggal tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) dalam menyerap Fe pada tanah tercemar air lindi?
3. Bagaimana pengaruh Fe terhadap pertumbuhan kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*).

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kemampuan daya serap tanaman kangkung darat (*Ipomoea*

reptan Poir) terhadap Fe pada tanah tercemar air lindi.

2. Untuk mengetahui pengaruh lama waktu tinggal tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptan Poir*) dalam menyerap Fe pada tanah yang tercemar air lindi.
3. Untuk mengetahui pengaruh Fe terhadap pertumbuhan kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*).

3.1. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini terbagi dua yaitu manfaat teoritis dan praktis. Manfaat teoritis penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai literatur bagi peneliti lebih lanjut khusus nya akademisi teknik lingkungan. Sedangkan manfaat praktis dalam penelitian ini sebagai Teknik fitoremediasi yang dapat diaplikasikan pada TPA yang tercemar air lindi yang dapat membantu pemerintah dalam memberikan solusi perbaikan lingkungan.

3.2. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini peneliti hanya melihat efektivitas dari tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptan Poir*) dalam menyerap logam berat besi (Fe) pada tanah tercemar lindi di TPA Regional Blang Bintang berdasarkan kemampuan daya serap terhadap logam berat besi (Fe) dan pengaruh lama waktu tinggal kangkung darat selama perlakuan. Adapun penelitian yang dilakukan langsung di lapangan bukan dilakukan di laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fitoremediasi

2.1.1. Pengertian Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknologi yang memanfaatkan tanaman atau tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat untuk memulihkan lingkungan yang terkontaminasi dengan tujuan meningkatkan kualitas lingkungan. Syarat dalam fitoremediasi adalah tanaman hiperakumulator yang mampu tumbuh pada kondisi lahan manapun, yang mempunyai tingkat toleransi terhadap zat kontaminan dan mampu meremediasi lebih dari satu polutan. Fitoremediasi berasal dari kata *phyto* yang merupakan bahasa Yunani, berarti tanaman/tumbuhan, dan kata *remidium* yang merupakan bahasa latin yang berarti untuk menghilangkan (Gosh dan Singh, 2005). Adapun fitoremediasi menurut EPA (2011) adalah proses mengurangi pencemar kimia di dalam tanah melalui akar tanaman. Demikian pula USGS (2011) yang menerangkan bahwa fitoremediasi sebagai penggunaan tanaman untuk meremediasi pencemar melalui asupan air yang terkontaminasi (proses transpirasi) oleh tanaman. Fitoremediasi merupakan teknologi remediasi *in-situ* yang memanfaatkan kemampuan yang melekat pada tumbuhan hidup (Manousaki dan Kalogerakis, 2011; Wang, dkk., 2017). Fitoremediasi juga merupakan teknologi pembersihan yang ramah lingkungan dan digerakkan oleh energi matahari, berdasarkan konsep menggunakan alam untuk membersihkan lingkungan. Kontaminasi tanah oleh tumpahan minyak merupakan masalah lingkungan yang menyebar luas yang seringkali membutuhkan pembersihan situs yang terkontaminasi (Glick, 2010).

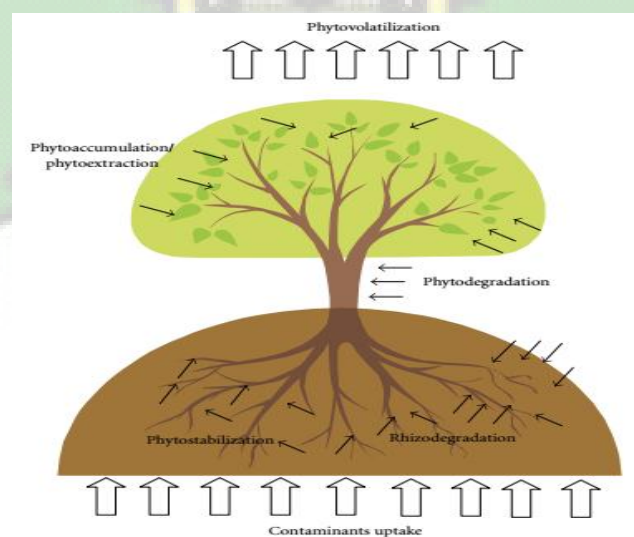
Sedangkan menurut Mudhoo, dkk. (2010) fitoremediasi merupakan suatu proses menggunakan tanaman hijau meliputi rempah (contohnya, *Thlaspi caerulescens*, *Brassica juncea*, *Helianthus annuus*) berkayu (contohnya, *Salix spp*, *Populus spp*), karena mereka mampu untuk menghilangkan, menyerap, atau mengubah berbagai kontaminan yang berbahaya bagi lingkungan seperti logam berat. Terlebih kelebihan fitoremediasi adalah mengurangi risiko kontaminan terdispersi yang menyebabkan pencemaran tiada habisnya. Fitoremediasi dapat diklasifikasikan berdasarkan proses penyerapan dan penghilangan logam, yaitu

fitoekstraksi atau disebut juga fitoakumulasi adalah penyerapan logam berat oleh akar tanaman dan mengakumulasikan logam-logam berat yang sudah diserap ke bagian- bagian tanaman seperti akar, batang dan daun, selanjutnya ada Rhizofiltrasi yaitu Proses penyerapan melalui akar, dimana akar tanaman menyerap dan mengendapkan logam berat. Selanjutnya ada Fitodegradasi yang proses penguraian zat-zat kontaminan (logam berat) pada limbah dengan memanfaatkan aktivitas mikroba dan enzim seperti dehalogenase dan oksigenasi yang berada disekitar akar tumbuhan, kemudian ada Fitostabilisasi yang memiliki kemampuan mengeluarkan (ekskresi) suatu zat senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah akar (rizosfer) atau penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak dapat terserap ke dalam batang tumbuhan. Kemudian Fitovolatilisasi yaitu kemampuan tanaman menyerap zat kontaminan logam berat dan melepaskannya (transpirasi) ke udara lewat daun dan sudah mengalami degradasi terlebih dahulu sehingga tidak lagi berbahaya jika dilepaskan ke udara, kemudian yang terakhir ada fitotransformasi yang menyerap zat-zat kontaminan logam berat oleh tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang memiliki rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana dan berguna untuk tumbuhan (Pamela, 2020).

Menurut Corseuil dan Moreno (2000), mekanisme tumbuhan dalam menghadapi bahan pencemar beracun adalah:

1. Penghindaran (*escape*) fenologis, apabila pengaruh yang terjadi pada tanaman musiman, tanaman dapat menyelesaikan daur hidupnya pada musim yang cocok.
2. *Ekslusi*, yaitu tanaman dapat mengenal ion yang bersifat toksik dan mencegah penyerapan sehingga tidak mengalami keracunan.
3. Penanggulangan (*ameliorasi*), tanaman mengabsorpsi ion tersebut, tetapi berusaha meminimumkan pengaruhnya. Jenisnya meliputi pembentukan khelat (*chelation*), pengenceran, lokalisasi atau bahkan ekskresi.
4. Toleransi, tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan fitoremediasi pada tanaman diantaranya Suhu, tumbuhan bergantung pada suhu lingkungan sekitar, semakin tinggi suhu lingkungan maka semakin tinggi penyerapan oleh tanaman. Dikarenakan suhu lingkungan yang tinggi akan menyebabkan proses fotosintesis meningkat, sehingga penyerapan pada tanaman akan meningkat pula. Pada umumnya tanaman dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu optimum, yaitu 25-30°. Derajat keasaman (pH) merupakan ukuran keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu perairan atau tanah. pH optimum untuk pertumbuhan tanaman adalah 5,5-7 karena pada pH tersebut penyerapan unsur hara dapat berlangsung dengan baik. Apabila pH lebih tinggi atau kurang maka pertumbuhan tanaman akan terhambat. Jumlah tanaman mempengaruhi fitoremediasi, semakin banyak jumlah tanaman yang digunakan maka semakin besar pula polutan yang diserap oleh tanaman. Waktu dalam penyerapan polutan waktu mempengaruhi jumlah polutan yang mampu diserap oleh tumbuhan, semakin lama waktu penyerapan, maka semakin besar pula polutan diserap oleh tumbuhan air. Namun faktor ini berlaku apabila tumbuhan air belum mencapai titik jenuh sehingga berapapun waktu kontak berikutnya apabila telah mencapai titik jenuh maka tumbuhan air tidak akan mampu menyerap polutan secara optimal. Jenis Tumbuhan, tumbuhan yang biasa digunakan dalam proses fitoremediasi adalah tanaman hiperakumulator seperti kayu apu, genjer, kiambang, kangkung air, melati air, eceng gondok, kangkung, rumput teki dan lainnya (Siahaan, dkk., 2014).



Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi Tanaman Menyerap Polutan
(Sumber: Tangahu, dkk., 2011)

2.1.2. Mekanisme Fitoremediasi

Menurut Priyanti (2017), mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yaitu: (a) penyerapan oleh akar agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara tergantung pada spesies tanaman; (b) translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) yang kemudian ditranslokasikan ke bagian tanaman yang lain; dan (c) lokalisasi logam pada sel dan jaringan, tujuan lokalisasi logam adalah untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Mekanisme dan efisiensi fitoremediasi bergantung pada jenis kontaminan, ketersediaan hayati dan sifat tanah (Li, dkk., 2012). terdapat beberapa cara tanaman membersihkan atau memulihkan area yang terkontaminasi. Penyerapan kontaminan pada tanaman terjadi terutama melalui sistem akar, dimana merupakan mekanisme utama untuk mencegah toksisitas. Sistem akar menyediakan luas permukaan yang sangat besar yang menyerap dan mengakumulasi air dan nutrisi penting untuk pertumbuhan bersama dengan kontaminan non-esensial lainnya (Ma, dkk., 2011).

Sukono, dkk. (2020) dalam tulisannya mengidentifikasi tiga mekanisme di mana tanaman dapat mentreatmen massa kontaminan di tanah, sedimen, dan air dimana diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi juga disebut fitoakumulasi, mengacu pada serapan dan translokasi kontaminan logam di dalam tanah oleh akar tanaman. Fitoekstraksi terutama digunakan untuk treatmen tanah yang terkontaminasi (Glick, 2010). Untuk menghilangkan kontaminasi dari tanah, pendekatan ini menggunakan tanaman untuk menyerap, memusatkan, dan mengendapkan logam beracun dari tanah yang terkontaminasi ke dalam biomassa di atas tanah (pucuk, daun, dan anggota tumbuhan lainnya).

Penemuan spesies hiperakumulator logam menunjukkan bahwa tumbuhan berpotensi menghilangkan logam dari tanah yang terkontaminasi (Tangahu, dkk., 2011). Hiperakumulator adalah spesies tanaman yang mampu mengakumulasi logam 100 kali lebih banyak daripada tanaman tidak terakumulasi pada umumnya (Tangahu, dkk., 2011). Logam seperti nikel, seng dan tembaga adalah polutan yang mudah untuk dihilangkan dengan fitoekstraksi karena telah ditunjukkan bahwa logam tersebut disukai oleh sebagian besar tanaman yang menyerap dan menyerap sejumlah besar logam yang tidak biasa (Li, dkk., 2012).

Terdapat beberapa keuntungan dari fitoekstraksi (Sarma, 2011; Sarwar, dkk., 2017). Biaya fitoekstraksi cukup murah jika dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu kontaminan dapat dikurangi atau dihilangkan secara permanen dari tanah. Selanjutnya, jumlah polutan yang harus diserap secara substansial berkurang (hingga 95%) dan dalam beberapa kasus, kontaminan dapat didaur ulang dari biomassa tanaman yang terkontaminasi (Sarma, 2011; Sarwar, dkk., 2017). Penggunaan spesies hiperakumulator dibatasi oleh pertumbuhan lambat, sistem perakaran dangkal, dan produksi biomassa kecil. Selain itu, biomassa tanaman juga harus dipanen dan dibuang dengan benar sesuai dengan standar (Vamerali, dkk., 2010). Ada beberapa faktor yang membatasi luasnya fitoekstraksi logam antara lain ketersediaan hayati logam di dalam rizosfer, laju serapan logam oleh akar, proporsi logam yang tertambat di dalam akar, laju pemuatan xylem/translokasi ke pucuk, toleransi seluler terhadap logam beracun. Metode ini juga biasanya terbatas pada logam dan senyawa anorganik lainnya dalam tanah atau sedimen (Sarma, 2011).

Agar metode *treatment* ini memungkinkan, tanaman harus mengekstraksi logam berat dalam konsentrasi besar ke dalam akarnya, mentranslokasi logam berat ke dalam biomassa permukaan, dan menghasilkan biomassa tanaman dalam jumlah besar. Selain itu, tanaman remediatif harus memiliki mekanisme untuk mendetoksifikasi dan/atau mentolerir konsentrasi logam tinggi yang terakumulasi dalam tunasnya (Ma, dkk., 2011; Tangahu, dkk., 2011; Wang, dkk., 2017).

2. Rizofiltrasi

Rizofiltrasi terutama digunakan untuk memulihkan air tanah yang diekstraksi, air permukaan, dan air limbah dengan konsentrasi kontaminan rendah. Metode ini merupakan metode adsorpsi atau pengendapan ke akar tanaman atau penyerapan kontaminan dalam larutan yang mengelilingi zona akar (Wang, dkk., 2017). Rhizofiltrasi biasanya dieksploitasi di air tanah (baik *in-situ* atau diekstraksi), air permukaan, atau air limbah untuk menghilangkan logam atau senyawa anorganik lainnya (Vamerali, dkk., 2010). Rhizofiltrasi dapat digunakan untuk Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, dan Cr, yang tertahan di dalam akar (Vamerali, dkk., 2010).

Rhizofiltrasi mirip dengan fitoekstraksi, tetapi tanaman digunakan terutama untuk mengatasi air tanah yang terkontaminasi daripada tanah yang terkontaminasi (Gupta, dkk., 2013). Tanaman yang akan digunakan untuk pembersihan dibiakkan atau ditumbuhkan di rumah kaca dengan akarnya di air, bukan di tanah. Untuk menyesuaikan diri dengan tanaman dan setelah sistem perakaran besar dikembangkan, air yang terkontaminasi dikumpulkan dari tempat pembuangan limbah dan dibawa ke tanaman untuk menggantikan sumber air mereka (Gupta, dkk., 2013).

Tanaman tersebut kemudian ditanam di area yang terkontaminasi di mana akarnya mengambil air dan kontaminan bersamanya. Saat akar menjadi jenuh dengan kontaminan, maka tanaman tersebut diambil atau dipanen (Gupta, dkk., 2013). Bunga matahari, mustard India, tembakau, gandum hitam, bayam, dan jagung telah dipelajari karena kemampuannya menghilangkan timbal dari air, dengan bunga matahari memiliki kemampuan terbesar (Gupta, dkk., 2013; Sood, dkk., 2012; Vamerali, dkk., 2010). Dalam sebuah penelitian, setelah satu jam treatment, bunga matahari mengurangi konsentrasi timbal secara signifikan (Gupta, dkk., 2013).

Keuntungan pada metode rhizofiltrasi adalah kemampuan untuk menggunakan tanaman darat dan air baik untuk aplikasi *in-situ* maupun *ex-situ*. Keuntungan lainnya adalah kontaminan tidak harus dipindahkan ke tunas. Dengan demikian, spesies selain hiperakumulator dapat digunakan. Tanaman terestrial lebih disukai karena memiliki sistem perakaran yang berserat dan lebih panjang sehingga

meningkatkan jumlah luas perakaran (Gupta, dkk., 2013; Sood, dkk., 2012; Vamerali, dkk., 2010).

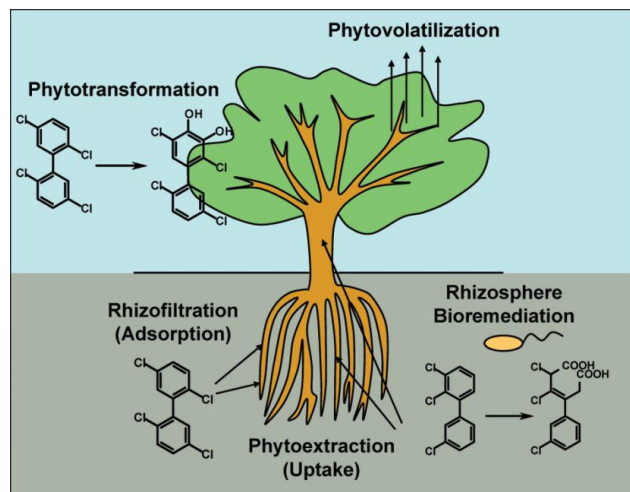
Kekurangan dan keterbatasan pada metode ini berupa kebutuhan konstan untuk menyesuaikan pH, tanaman mungkin perlu ditanam terlebih dahulu di rumah kaca atau pembibitan; ada pemanenan berkala dan pembuangan tanaman; desain tangki harus direkayasa dengan baik; dan pemahaman yang baik tentang spesiasi / interaksi kimia diperlukan (Gupta, dkk., 2013; Sood, dkk., 2012).

3. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi melibatkan penggunaan tanaman untuk mengambil kontaminan dari tanah, mengubahnya menjadi bentuk yang mudah menguap dan memindahkannya ke atmosfer (Saier dan Trevors, 2010). Fitovolatilisasi juga melibatkan kontaminan yang dibawa ke dalam tubuh tumbuhan, tetapi kemudian kontaminan yang memiliki bentuk yang mudah menguap, atau produk degradasi yang mudah menguap diangkut dengan uap air dari daun (Wang, dkk., 2017). Fitovolatilisasi juga dapat menyebabkan difusi kontaminan dari batang atau bagian tanaman lain yang dilalui kontaminan sebelum mencapai daun (Tangahu, dkk., 2011).

Fitovolatilisasi dapat terjadi dengan kontaminan yang ada di tanah, sedimen, atau air. Merkuri adalah kontaminan logam utama yang telah digunakan pada penelitian dengan menggunakan metode ini (Manousaki dan Kalogerakis, 2011). Itu juga telah ditemukan terjadi dengan senyawa organik yang mudah menguap, termasuk trichloroethene, serta bahan kimia anorganik yang memiliki bentuk yang mudah menguap, seperti selenium, dan arsen (Wang, dkk., 2017).

Keuntungan dari metode ini adalah kontaminan berupa ion merkuri, dapat diubah menjadi zat yang kurang beracun (yaitu, unsur Hg) (Wang, dkk., 2017). Kerugiannya adalah bahwa merkuri yang dilepaskan ke atmosfer kemungkinan besar akan didaur ulang oleh presipitasi dan kemudian disimpan kembali ke danau dan lautan, mengulangi produksi metilmerkuri oleh bakteri anaerob (Saier dan Trevors, 2010; Wang, dkk., 2017).



Gambar 2.2 Mekanisme Rizofiltrasi, Fitotransformasi dan Fitovolatilisasi Tanaman Menyerap Polutan (Sumber: Aken, dkk., 2010)

2.2. Logam Berat

2.2.1. Pengertian Logam Berat

Salah satu bahan pencemar yang berbahaya keberadaannya bagi lingkungan adalah logam berat. Pertambangan, limbah domestik, polusi udara, limpasan air hujan dan pembuangan limbah industri merupakan sumber utama pencemaran logam berat, pencemaran yang terjadi pada lingkungan akan mengakibatkan dampak negatif terhadap ekosistem lingkungan. Logam berat merupakan bahan pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik, jika dalam jumlah yang besar dapat mempengaruhi aspek ekologis maupun aspek biologis bagi lingkungan. Konsentrasi logam berat yang tinggi akan menyebabkan kerusakan lingkungan dan meningkatkan daya toksisitas dan bioakumulasi logam. Bahan berbahaya dan toksin yang ada dalam limbah industri adalah logam berat seperti arsen, cadmium, besi, tembaga, timbal, kobalt, seng (Zubair. dkk., 2018). Menurut Khelif dan Hamza-Chaffai (2010) logam adalah zat dengan konduktivitas tinggi listrik, kelenturan, dan kilau, yang secara sukarela kehilangan elektron mereka untuk membentuk kation. Distribusi logam di atmosfer dipantau oleh sifat dari logam yang diberikan dan oleh berbagai faktor lingkungan

Menurut Fernanda (2012), berdasarkan daya hantar panas dan listriknya semua unsur-unsur kimia yang terdapat dalam Susunan Berkala Unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu golongan logam dan non logam. Berdasarkan

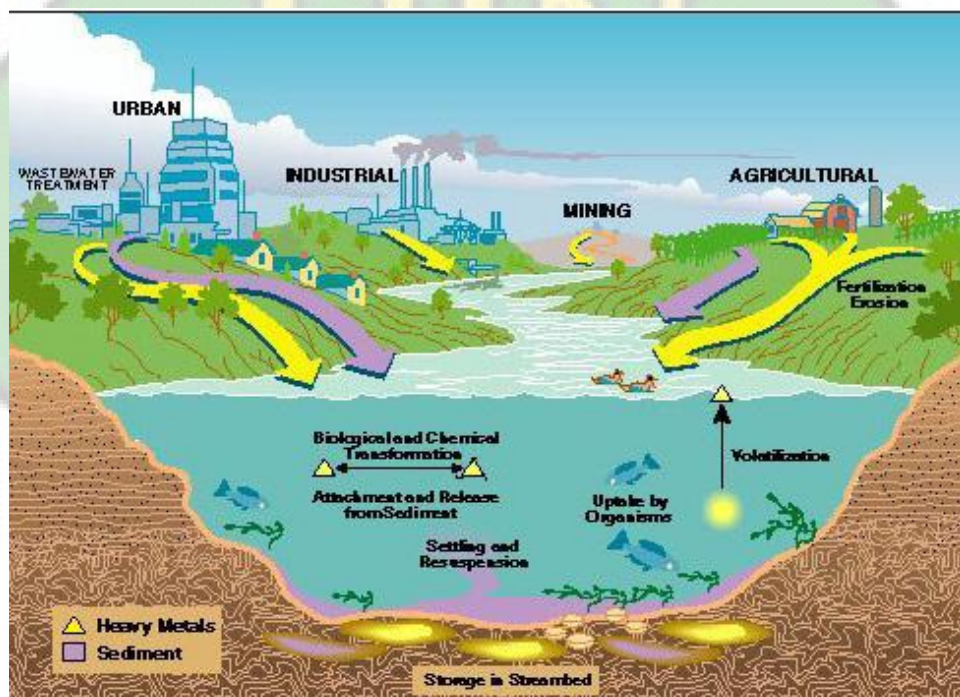
densitasnya, unsur logam dibagi menjadi dua yaitu unsur logam ringan dan unsur logam berat. Logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 , dan mempunyai nomor atom 22 sampai 92 yang terletak pada periode III sampai VII dalam susunan berkala. Logam berat jarang sekali berbentuk atom sendiri di dalam air, tetapi biasanya terikat oleh senyawa lain sehingga berbentuk sebuah molekul. Logam berat merupakan senyawa kimia yang berpotensi menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Logam berat memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik, daya pantul cahaya dan daya hantar listrik yang tinggi, dan daya hantar panas yang cukup baik. Happy, dkk., (2012) juga menjelaskan bahwa terdapat 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia yang ada di bumi. Dari sifatnya logam berat terdapat dua perbedaan yaitu esensial dan non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang masih diperlukan atau dibutuhkan oleh kehidupan makhluk hidup, sedangkan logam berat non esensial merupakan logam berat yang keberadaannya tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup khususnya biota laut. Contoh logam berat esensial antara lain ada Zn, Cu, Fe, Co dan Mn. Pada logam berat non esensial adalah logam berat yang memiliki sifat toksik atau beracun. Contoh dari logam berat non esensial adalah Hg, Cd, Pb dan Cr. Logam berat yang terakumulasi sangat banyak di alam dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Logam berat dapat terakumulasi dalam air, sedimen dan biota dan Logam berat dapat berikatan dengan logam berat lainnya.

Logam berat pada umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup, walaupun beberapa diantaranya dibutuhkan oleh tubuh. Logam berat termasuk ke dalam zat pencemar berbahaya karena mempunyai sifat yang tidak dapat terurai (*non-biodegradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan mudah diabsorpsi. menambahkan bahwa logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial, merupakan logam berat yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun akan menimbulkan efek racun dalam jumlah yang berlebihan. Contohnya yaitu Zink (Zn), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Kobalt (Co), Mangan (Mn). logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, dan menyebabkan keracunan pada manusia. Contohnya yaitu Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Kromium (Cr) (Widowati dkk., 2019)

Menurut Sutamihardja (2006) dalam Adhani dan Husaini (2017), sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia adalah sebagai berikut:

1. Logam berat sulit didegradasi, sehingga cenderung akan terakumulasi pada lingkungan.
2. Logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan konsentrasi dapat semakin tinggi, atau dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi.
3. Logam berat mudah terakumulasi pada sedimen, sehingga konsentrasi selalu lebih tinggi daripada konsentrasi logam dalam air.

Perilaku logam berat di lingkungan Menurut Sutamihardja (2006) dalam Adhani dan Husaini (2017) dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Perilaku Logam Berat di Lingkungan
(Sumber: Sutamihardja (2006) dalam Adhani dan Husaini (2017))

2.2.2 Toksisitas Logam Berat Besi (Fe)

Besi atau ferrum (Fe) adalah logam transisi paling melimpah di kerak bumi. Aspek biologisnya adalah nutrisi paling penting bagi makhluk hidup karena merupakan kofaktor bagi banyak protein penting dan enzim. Reaksi yang dimediasi besi mendukung sebagian besar organisme aerobik dalam proses

respirasi mereka. Jika tidak terlindung dengan baik, ia dapat mengkatalisis reaksi yang melibatkan pembentukan radikal yang dapat merusak biomolekul, sel, jaringan dan seluruh organisme. Keracunan besi selalu menjadi topik yang menarik terutama untuk dokter spesialis anak. Anak-anak sangat rentan terhadap keracunan besi karena mereka terkena maksimal produk iron containing (Albretsen, 2006).

Logam Fe dengan nomor atom 26 merupakan logam berat esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, tetapi dapat menimbulkan efek racun dalam jumlah yang berlebihan. Pencemaran Fe yang berasal dari limbah industri dapat terjadi melalui beberapa media seperti dari udara, air maupun makanan. Tingginya konsentrasi kandungan Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia seperti menyebabkan keracunan (muntah), penuaan dini hingga kematian mendadak, kerusakan usus, hipertensi, radang sendi, cacat lahir, kanker, diabetes, diare, pusing dan mudah lelah Dampak pencemaran logam berat pada tanah akan mengakibatkan kerusakan pada tanah sehingga kesuburan tanah akan berkurang dan bahkan dapat menjadi racun pada tanaman yang hidup di sekitar tanah tersebut (Supriyanti, 2017).

Kandungan Fe yang tinggi dapat berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya dapat menyebabkan keracunan (muntah), mudah lelah, mual, nyeri pada perut, dan diare, tempat pertama yang mengontrol pemasukan Fe yaitu usus halus. Usus halus berfungsi sebagai adsorpsi dan ekskresi Fe yang tidak diserap. Kemudian besi yang diabsorpsi di usus halus dibentuk menjadi feritin. Feritin masuk ke dalam darah berubah bentuk menjadi transferin. Dalam darah Fe berstatus menjadi besi bervalensi tiga kemudian ditransfer ke hati dan limpa disimpan dalam organ sebagai cadangan dalam bentuk ferritin dan dan hemosiderin. Toksisitas akan terjadi bila kelebihan dalam ikatan tersebut (Astuti dkk., 2010). Selain itu Hillman (2001) dalam Adhani dan Husaini (2017) menjelaskan bahwa iron toksikosis terjadi dalam empat tahap. Tahap pertama yang terjadi setelah 6 jam dari overdosis besi ditandai dengan efek gastrointestinal seperti gastro intestinal perdarahan, muntah dan diare. Tahap kedua berlangsung dalam waktu 6 sampai 24 jam dari overdosis dan dianggap sebagai periode laten, periode pemulihan medis jelas. Tahap ketiga terjadi antara 12-96 jam setelah

timbulnya gejala klinis tertentu. Tahap ini ditandai dengan guncangan, hipotensi, lesu, takikardia, nekrosis hati, asidosis metabolik dan kadang-kadang kematian. Tahap keempat terjadi dalam 2-6 minggu overdosis besi. Tahap ini ditandai dengan pembentukan ulserasi gastrointestinal dan pengembangan striktur. Penyerapan zat besi berlebih merupakan masalah serius di negaranegara maju dan makan daging dan meningkatkan risiko kanker. Pekerja yang sangat terpapar asbes yang berisi hampir 30%.

Pencemaran lingkungan oleh Fe pada lingkungan dapat berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan seperti presipitasi dari Fe dapat merubah air menjadi keruh berwarna kuning kecoklatan, kadang - kadang sampai hitam. Kehadiran Fe menyebabkan berkembangnya mikroorganisme pada sistem distribusi. Menyebabkan air berasa logam dan berbau. Presipitasi dari logam-logam ini menimbulkan kesukaran pada proses pengolahan air misalnya ion exchange yang dapat mempercepat habisnya kapasitas penukaran ion. Konsentrasi Fe dalam air yang melebihi 2 mg/l akan menimbulkan noda-noda pada kain dan peralatan-peralatan dapur. Selain itu Fe juga dapat mengakibatkan endapan pada pipa-pipa logam. Dalam dosis tinggi dapat merusak dinding usus, bahkan dapat menyebabkan kematian karena rusaknya dinding usus ini. Debu Fe dapat diakumulasi di dalam alveoli dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru (Herlina, 2015).



Gambar 2.4 Logam Berat Besi (Fe)
(Sumber: Vernandes, 2017)

2.3. Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

Kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang sangat digemari oleh masyarakat Indonesia karena rasanya yang gurih. Tanaman ini termasuk kelompok tanaman semusim dan berumur pendek dan tidak memerlukan areal yang luas untuk membudidayakannya sehingga memungkinkan dibudidayakan di berbagai tempat yang lahannya terbatas. Selain rasanya yang gurih, gizi yang terdapat pada sayuran kangkung cukup tinggi, seperti vitamin A, B dan C serta berbagai mineral terutama zat besi yang berguna bagi pertumbuhan badan dan kesehatan (Mayani, dkk., 2015).

Kangkung darat merupakan tanaman hiperakumulator bagi ion logam karena mampu mengakumulasi logam melalui fitostabilisasi dan distribusi ion logam (Khairuddin, dkk., 2017). Hiperakumulator adalah tanaman yang dapat menyerap logam berat sekitar 1% dari berat keringnya. Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Handayani, 2018).

Tumbuhan hiperakumulator merupakan tumbuhan yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu cara pembersihan polutan menggunakan tumbuhan, umumnya terdefinisi seperti pembersihan dari toksin atau kontaminan dari lingkungan dengan menggunakan tumbuhan *hyperaccumulator*. Fitoremediasi berasal dari dua kata yaitu Phyto dalam bahasa Yunani yang berarti tumbuhan/tanaman dan remedial yang berasal dari bahasa latin yaitu memperbaiki atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (phytoremediation) merupakan suatu sistem dimana tanaman dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi berkurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang dapat digunakan kembali (Irawati, 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yeonchon, dkk. (2021) yang berjudul Studi *Pteris*

vittata, *Amaranthus spinosus*, *Ipomoea reptans* Poir Sebagai Fitoremediator Tanah Tercemar Merkuri (Hg), Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa ketiga tanaman hiperakumulator efektif digunakan sebagai fitoremediator merkuri, dengan efisiensi penyerapan masing-masing tanaman 33,56%, 21,09%, dan 61,46%, dimana kangkung darat memiliki efisiensi paling tinggi.

Hasil penelitian Suhaeni, dkk., (2016) menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir) mampu menyerap logam berat Cd dalam tanah pada organ akar, batang dan daun dengan konsentrasi akar sebanyak 0.4303 ppm, batang sebanyak 0.1513 ppm dan daun sebanyak 0.1667 ppm. Oleh karena itu, tanaman kangkung merupakan salah satu tanaman hiperakumulator dalam menyerap logam berat pada tanah tercemar. Lanjut hasil penelitian Liong dkk., (2019), menyatakan bahwa konsentrasi tertinggi yang dapat diakumulasi oleh kangkung darat adalah 3317,68 mg/kg dengan lama waktu tanam 21 hari. Metode penggunaan tanaman kangkung darat pada tanah tercemar yang mampu mengakumulasi logam merupakan salah satu teknik yang ramah lingkungan dan dapat meningkatkan kesuburan tanah.

Kangkung merupakan salah satu anggota famili Convolvulaceae. Menurut Pracaya (2009) tanaman kangkung dapat digolongkan sebagai tanaman sayur. Berdasarkan klasifikasi tanaman kangkung, maka secara morfologi tanaman kangkung memiliki dua variasi yaitu kangkung air dan kangkung darat. Kangkung darat yang mempunyai daun-daun yang panjang dengan ujung yang runcing, berwarna hijau keputih-putihan dan bunganya berwarna putih. Kangkung darat biasanya ditanam di tempat-tempat yang agak kering, sedangkan kangkung air biasa ditanam di pinggir-pinggir kolam, rawa-rawa dan lain- lain.

Batang kangkung darat yaitu bulat dan berlubang, berbuku-buku, banyak mengandung air (*herbaceous*) dari buku-bukunya mudah keluar akar dan memiliki percabangan yang banyak dan setelah tumbuh lama batangnya akan menjalar (Djuariah, 2007). Kangkung darat memiliki tangkai daun melekat pada buku-buku batang dan di ketiak daunnya terdapat mata tunas yang dapat tumbuh menjadi percabangan baru. Bentuk daun umumnya runcing ataupun tumpul, permukaan daun sebelah atas berwarna hijau tua, dan permukaan daun bagian bawah berwarna hijau muda. Selama fase pertumbuhannya tanaman kangkung dapat

berbunga, berbuah dan berbiji terutama jenis kangkung darat (Maria, 2009). Kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dapat tumbuh pada daerah yang beriklim panas dan beriklim dingin Jumlah curah hujan yang baik untuk pertumbuhan tanaman ini berkisar antara 1500-2500 mm/tahun. Pada musim hujan tanaman kangkung pertumbuhannya sangat cepat dan subur, asalkan di sekelilingnya tidak tumbuh rumput liar. Dengan demikian, kangkung pada umumnya kuat menghadapi rumput liar sehingga kangkung dapat tumbuh di padang rumput, kebun/ladang yang agak rimbun (Aditya, 2009)

Adapun klasifikasi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

Kingdom	<i>Plantae</i> (tumbuhan)
Subkingdom	<i>Tracheobionta</i> (berpembuluh)
Super Divisio	<i>Spermatophyta</i> (menghasilkan biji)
Divisio	<i>Magnoliophyta</i> (berbunga)
Kelas	<i>Magnoliopsida</i> (berkeping dua/dikotil)
Sub-kelas	<i>Asteridae</i>
Ordo	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Convolvulaceae</i> (suku kangkung-kangkungan)
Genus	<i>Ipomea</i>
Spesies	<i>Ipomea reptans Poir</i>

Sumber: Liong, dkk. (2019)

Gambar kangkung darat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

2.4. Lindi

2.4.1. Pengertian Lindi

Lindi (*leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi yang berasal dari dekomposisi materi sampah yang dihasilkan dari sampah domestik, industri dan lain-lain (Damanhuri, dkk., 2019). Lindi dapat meresap ke dalam tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung karena dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia organik dan anorganik serta sejumlah pathogen (Susanto, 2004). Timbunan sampah di TPA akan menghasilkan cairan yang dikenal dengan lindi (*leachate*). Air lindi mengandung bahan organik dan logam berat. Air hujan berperan sebagai media pelarut yang membawa bahan pencemar dari hasil dekomposisi sampah masuk ke kolam penampungan lindi, jika tidak dikelola dengan baik bahan pencemar dalam air lindi ini akan mencemari tanah, air tanah, air permukaan di sekitar lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Adapun menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dijelaskan bahwa lindi adalah cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi.

Lindi merupakan limbah cair yang berasal dari pembusukan sampah yang terakumulasi dengan sejumlah zat-zat kimia beracun selama proses penimbunan sampah padat sehingga menghasilkan rembesan lindi dan ini salah satu bentuk pencemaran lingkungan oleh timbunan sampah. Lindi mengandung zat berbahaya jika berasal dari sampah yang tercampur dengan sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) apabila tidak dilakukan pengolahan secara khusus lindi dapat mencemari sumur atau air tanah dan air sungai (Sedigul dkk., 2021). Sampah yang tertimbun di TPA mengandung zat organik, dan jika air hujan turun akan menghasilkan air lindi dengan kandungan mineral dan zat organik yang tinggi pula. Setiap TPA memiliki karakteristik air lindi yang berbeda tergantung dari proses yang terjadi didalam landfill, baik itu proses fisik, kimia, dan biologis (Sari dkk., 2017). Menurut Herlina (2015) air lindi yang mengandung senyawa organik

yaitu (asam humat, fulvat, tanah, hidrokarbon dan galat) sedangkan kandungan senyawa anorganik berupa (kalsium, natrium, magnesium, kalium, sulfat, klor, nitrogen dan beberapa kandungan logam berat).

Proses terjadinya lindi diakibatkan oleh dua hal yaitu berasal dari sampah itu sendiri dan air hujan. Lindi dapat meresap ke dalam tanah sampai ke rongga-rongga tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung karena dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia organik dan anorganik dan sejumlah patogen. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Lindi TPA

No	Parameter	Kadar Paling Tinggi
1	pH	6-9
2	BOD	150 mg/L
3	COD	300 mg/L
4	TSS	100 mg/L
5	N Total	60 mg/L
6	Merkuri	0,005 mg/L
7	Cadmium	0,01 mg/L

Sumber: Permen LHK Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

2.4.2. Komposisi Karakteristik Lindi

Persoalan utama dalam pengolahan lindi menurut Idaman (2017) adalah penentuan kualitas desain dari lindi yang akan diolah di Instalasi Pengolah Lindi (IPL). Kualitas desain lindi sangat bergantung pada sampling lindi yang dilakukan. Karakteristik dan kuantitas lindi dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain, karakteristik dan komposisi sampah, jenis tanah penutup *landfill*, musim, pH dan kelembaban, serta umur timbunan (usia *landfill*). Sehingga dalam pengambilan sampel lindi, beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya (a) posisi pengambilan sampel; (b) waktu pengambilan sampel, apakah setelah hujan atau pada saat musim kemarau; dan (c) metode pengambilan sampel (apakah komposit atau *grab sampling*).

Komposisi air lindi sangat bervariasi karena proses pembentukannya dipengaruhi oleh karakteristik sampah (organik-anorganik), mudah tidaknya penguraian (larut - tidak larut), kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur), karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi), komposisi tanah penutup, ketersediaan nutrisi dan mikroba, dan kehadiran inhibitor (Diana dalam Priambodho, 2005).

Aspek *landfill* juga terkait dalam kualitas lindi, diantaranya adalah sebagai berikut

1. Jenis Limbah, tingkatan dari proses degradasi sampah dengan berbagai jenis sampah.
2. Kondisi TPA, fase degradasi limbah, kelembaban, curah hujan, suhu, dll.
3. Cara penimbunan, pemadatan limbah TPA dan ketinggian lapisan penutup TPA.
4. Sampling, metode analisis dan titik pengambilan sampel.

Aspek-aspek tersebut saling terkait dan aspek 1-3 merupakan aspek yang mempengaruhi dalam kualitas lindi dan karakteristiknya, sedangkan aspek keempat mempengaruhi analisis. Lindi yang dihasilkan dari sampah perkotaan di Asia (kecuali Jepang) memiliki komposisi 60 - 90% sampah organik dan 3- 18% sampah plastik (Agamuthu, 1999 dalam Visvanathan, dkk., 2004).

Menurut McBean (1995) menyatakan kualitas konsentrasi lindi akan berbeda berdasarkan pengaruh waktu, dan terbagi menjadi dua karakteristik lindi, yaitu sebagai berikut:

1. Lindi Muda

Dalam beberapa tahun pertama, lindi mengandung bahan-bahan organik yang baru terdegradasi. Sehingga dalam lindi muda ini cenderung bersifat asam karena banyaknya asam lemak volatil yang ada. Umumnya nilai pH berada dalam rentang 6 - 7 dan bahkan lebih rendah pada landfill yang kering. Lindi muda berasal dari proses degradasi bahan organik yang kompleks seperti selulosa dan bahan organik terlarut seperti asam organik.

2. Lindi Tua

Setelah sampah berumur 4 sampai 5 tahun, nilai pH mengalami peningkatan dengan rentang 7 - 8. Perubahan nilai tersebut diakibatkan karena semakin

menurunnya degradasi organik dan adanya produksi gas. Tabel berikut karakteristik konsentrasi lindi muda dan lindi tua, yaitu:

Lindi yang berasal dari timbunan sampah yang baru mempunyai nilai BOD dan COD yang sangat tinggi, tetapi semakin lama umur *landfill*, maka kualitas lindi *landfill* juga akan menurun. Adapun karakteristik lindi berdasarkan umur *landfill* dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur *Landfill*

Parameter	Landfill Umur < 2 th (mg/L)	Tipikal (mg/L)	Landfill Umur > 10 th (mg/L)
BOD	2.000 – 30.000	10.000	100 – 200
COD	3.000 – 60.000	18.000	100 – 500
pH	4,5 – 7,5	6,0	6,6 – 7,5
TSS	200 – 2.000	500	100 – 400
N-NO ₂	5 – 40	20	20 – 40
N-NO ₃	5 – 40	25	5 – 10
Alkalinitas	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
Sulfat	50 – 100	300	20 – 50
Kalsium	200 – 3.000	1.000	100 – 400
Klorida	200 – 2.500	500	100 – 400
Natrium	200 – 2.500	500	100 – 400
Besi Total	50 – 700	60	20 – 200

Sumber: Siahaan, dkk., (2014)

Karakteristik lindi sangat bervariasi tergantung dari proses-proses yang terjadi di dalam *landfill*, yang meliputi proses fisik, kimia dan biologis. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses yang terjadi di *landfill* yaitu jenis sampah, lokasi landfill hidrogeologi dan sistem pengoperasian, faktor tersebut sangat bervariasi pada tempat pembuangan yang satu dengan yang lainnya, begitu pula aktivitas biologi serta proses yang terjadi pada timbunan sampah baik secara aerob maupun anaerob.

Sedangkan menurut McBean, dkk. (1995) menjelaskan bahwa perbedaan antara lindi tua dan lindi muda dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Tipikal Konsentrasi Lindi Muda dan Tua

Parameter	Konsentrasi (Mg/L)	
	Lindi muda (<5 Tahun)	Linda Tua (>5 Tahun)
COD	20.000 - 40.000	500 - 3000
BOD	10.000 - 20.000	50 - 100
TOC	9.000 - 15.000	100 - 1000
Asam Lemak Volatil	9.000 - 25.000	50 - 100

Sumber: McBean, dkk. (1995)

Menurut Mavinic (1988) dalam Visvanathan (2004) menyatakan selama beberapa tahun pertama (<5 tahun), sampah di TPA berada dalam fase acidogenic dan lindi yang dihasilkan umumnya sebagai lindi muda atau berbasis karbon karena lebih tinggi konsentrasi karbon organik. Sampah di TPA yang berumur 10 tahun umumnya di fase methanogenic dan lindi yang dihasilkan disebut sebagai tua atau berbasis nitrogen. Ehrig (1998) dalam Visvanathan (2004) melakukan studi ekstensif pada karakterisasi lindi dari 15 tempat pembuangan sampah mulai dari 0 sampai 12 tahun di Jerman dan menemukan karakteristik dalam fase acitogenesis dan methanogenesis pada lindi sampah perkotaan. Pada fase pertama, kandungan organik (BOD dan COD) lebih tinggi dari fase methanogenesis. pH telah ditemukan meningkat dengan penurunan biodegradasi ketika perubahan dari acidogenik fase methanogenik.

2.4.3. Mekanisme Lindi

Berkaitan dengan pembuangan sampah pada *landfill*, maka terdapat dua permasalahan lingkungan yaitu timbunan lindi dan gas *landfill* (CO₂, CH₄, H₂S). Lindi adalah cairan yang merembes melalui atau keluar dari sampah berbahaya atau sampah padat serta mengekstraksi, melarutkan, atau mengendapkan bahan dari sampah. Cairan lindi mengandung bahan organik dan anorganik dengan konsentrasi tinggi, termasuk senyawa berbahaya dan logam berat. Lindi dapat menyebabkan masalah lingkungan bila mengalir keluar dari *landfill* ke tanah sekitar, dan mungkin badan air permukaan serta air tanah, sehingga ini harus dikelola. Setiap landfill memiliki karakteristik sendiri, cairan yang melewati sampah juga memiliki sifat-sifat berbeda. Kualitas lindi juga berubah dari waktu

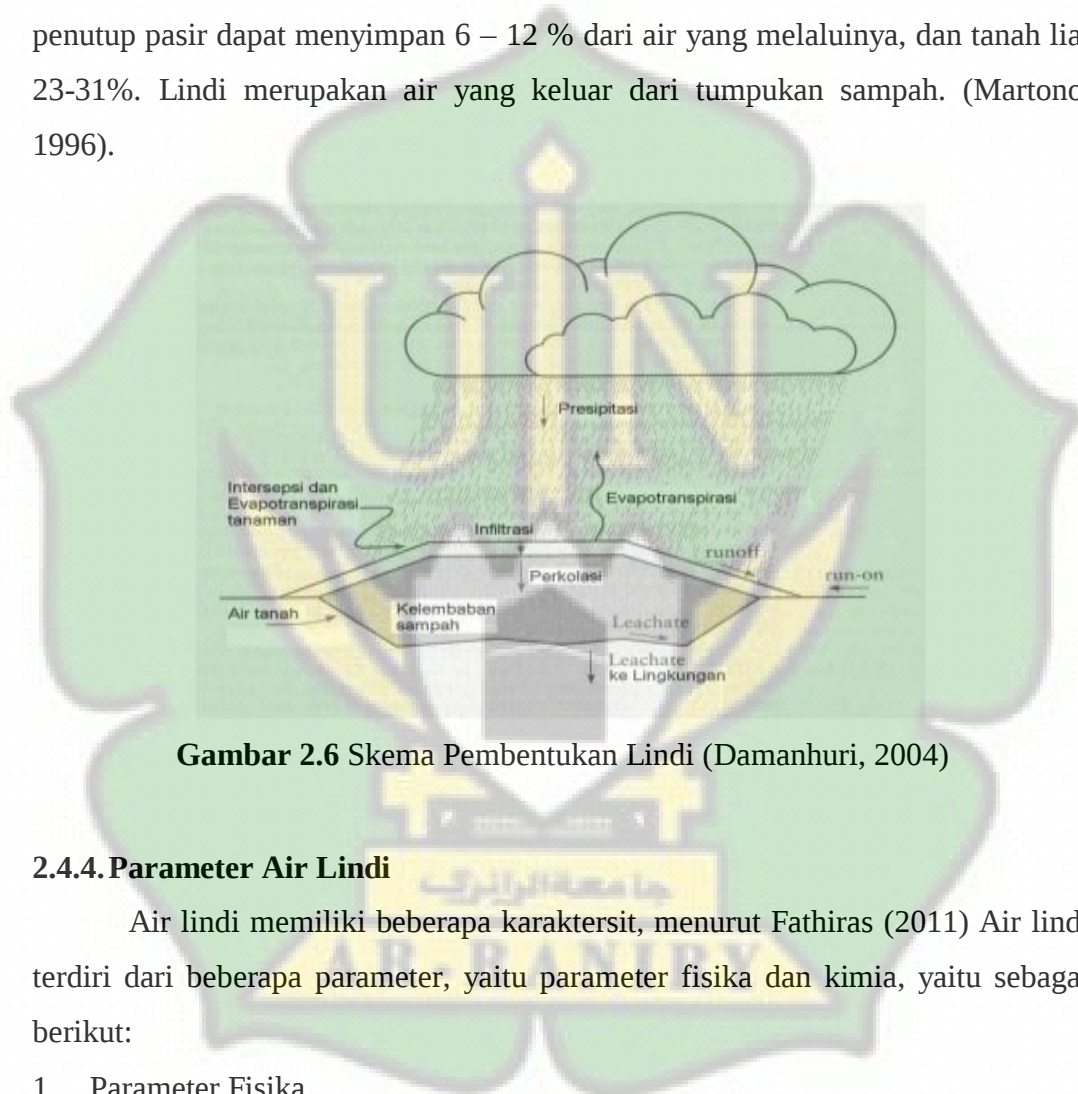
ke waktu, sehingga sistem penanganan harus diukur menurut parameter individual dan harus cukup fleksibel untuk menangani berbagai aliran yang berpengaruh. Aliran cairan biasanya diarahkan pada pori-pori ini. Aliran air ke bawah melalui sampah padat perkotaan terjadi pada saluran aliran sempit dengan total area sekitar 28% dari area potongan lintang. Sedangkan Zeiss dan Ugucioni (1995) dalam Olatunde (2001) menyimpulkan bahwa aliran yang terjadi adalah suatu mekanisme aliran yang dominan pada sampah padat perkotaan, dan luas pori kurang dari 45% (maksimum pada keadaan stabil) dari luasan potongan lintang kolom.

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis. Dari sana dapat diramalkan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi. Dapat dikatakan bahwa kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar, sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya. Secara umum pola pengolahan lindi dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Curah hujan yang jadi di TPA mengalami penyerapan dan sebagian lagi menjadi air limpasan.
2. Ada curah hujan yang mengalami infiltrasi di permukaan.
3. Beberapa infiltrasi yang ada dipermukaan mengalami penguapan dan transpirasi dari vegetasi yang ada disekitar lokasi.
4. Proses infiltrasi menyebabkan pengurangan nutrient didalam kelembapan tanah.
5. Sisa dari infiltrasi, evaporasi, transpirasi dan kelembapan tanah bergerak ke bawah dan kemudian meresap yang pada akhirnya setelah mencapai landfill menjadi lindi.
6. Sisa dari infiltrasi bisa masuk ke groundwater.

Secara umum produksi lindi dari TPA dapat diperkirakan secara teoritis dengan teori kesetimbangan air dalam TPA. Jumlah air yang masuk akan sama dengan jumlah air yang dikonsumsi untuk proses dekomposisi sampah secara

biologis maupun kimia dan jumlah air yang tersisa yang merembes keluar. Air dari luar masuk melalui rembesan dari tanah penutup yang berasal dari air hujan dan air permukaan lainnya. Jumlah air yang masuk akan lebih banyak dibandingkan pada musim kemarau. Jumlah air yang terserap dan tersimpan dalam tanah penutup dapat didefinisikan sebagai kemampuan penyerapan dari suatu bahan, yaitu kemampuan bahan untuk menyimpan air dalam pori-porinya. Jenis tanah penutup pasir dapat menyimpan 6 – 12 % dari air yang melaluinya, dan tanah liat 23-31%. Lindi merupakan air yang keluar dari tumpukan sampah. (Martono, 1996).



Gambar 2.6 Skema Pembentukan Lindi (Damanhuri, 2004)

2.4.4. Parameter Air Lindi

Air lindi memiliki beberapa karakteristik, menurut Fathiras (2011) Air lindi terdiri dari beberapa parameter, yaitu parameter fisika dan kimia, yaitu sebagai berikut:

1. Parameter Fisika

a. Suhu

Perubahan suhu mempengaruhi proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, volatilisasi penurunan kelarutan gas O_2 , CO_2 , dan N_2 .

b. TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan Total Tersuspensi (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi

(diameter $>1\mu\text{m}$) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori $0,45\mu\text{m}$. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air.

2. Parameter Kimia

a. pH

Nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan apakah perairan tersebut bersifat asam atau basa. Nilai pH air lindi pada tempat pembuangan sampah perkotaan berkisar antara 1,5 – 9,5.

b. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air pada keadaan aerob yang diinkubasi pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari, sehingga sering disebut BOD. Nilai BOD₅ ini juga digunakan untuk menduga jumlah bahan organik di dalam air limbah yang dapat dioksidasi dan akan diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses biologi.

c. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik yang terdapat di perairan, menjadi CO_2 dan H_2O . Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan dalam mengoksidasi air sampel, bila BOD memberikan gambaran jumlah bahan organik yang dapat terurai secara biologis (bahan organik mudah terurai, *biodegradable organic matter*), maka COD memberikan gambaran jumlah total bahan organik yang mudah terurai maupun yang sulit.

d. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu elemen yang beracun. Setelah diserap, Cd secara efisien dipertahankan dalam tubuh manusia, di mana terakumulasi sepanjang hidup. Cd sangat beracun bagi ginjal, terutama pada sel-sel tubulus proksimal. Cd juga dapat menyebabkan demineralisasi tulang, baik melalui kerusakan tulang secara langsung atau tidak langsung sebagai akibat dari

disfungsi ginjal. Dalam industri, paparan Cd yang berlebihan ke udara dapat mengganggu fungsi paru-paru dan meningkatkan risiko kanker paru-paru.

e. Amonia Total

Amonia pada perairan dihasilkan oleh proses dekomposisi, reduksi nitrat oleh bakteri, kegiatan pemupukan dan ekskresi organisme yang ada di dalamnya. Amonia (NH_3) yang disebut juga nitrogen amonia dihasilkan dari pembusukan zat-zat organik oleh bakteri. Setiap amonia yang dibebaskan ke suatu lingkungan akan membentuk reaksi keseimbangan dengan ion amonium (NH_4^+). Amonium ini yang kemudian mengalami proses nitrifikasi membentuk nitrit dan nitrat. Amonia dalam keadaan tidak terdisosiasi akan lebih berbahaya untuk ikan dari pada dalam bentuk amonium. Nilai amonia memiliki hubungan dengan nilai pH perairan, yaitu makin tinggi pH air maka semakin besar kandungan amonia dalam bentuk tidak terdisosiasi. Kadar amonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian.

f. Besi (Fe)

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat.

g. Nitrat (NO_3)

Nitrat adalah bentuk nitrogen utama dalam perairan dan merupakan nutrisi utama bagi tumbuhan dan algae. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung dalam kondisi aerob.

h. Sulfat

Sulfat adalah bentuk sulfur utama dalam perairan dan tanah. Di perairan yang diperuntukkan bagi air minum sebaiknya tidak mengandung senyawa natrium sulfat (Na_2SO_4) dan magnesium sulfat (MgSO_4) di perairan, sulfur

berikatan dengan ion hidrogen dan oksigen. Reduksi (pengurangan oksigen dan penambahan hidrogen) anion sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerob dalam proses dekomposisi bahan organik Nitrosomonas Nitrobacter Bakteri menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korosivitas logam.

i. Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah logam berat berbentuk cair, berwarna putih perak, serta mudah menguap pada suhu ruangan. Hg dapat larut dalam asam sulfat atau asam nitrit, tetapi tahan terhadap basa. Merkuri (air raksa, Hg) adalah salah satu jenis logam yang banyak ditemukan di alam dan tersebar dalam batu-batuan, bijih tambang, tanah, air dan udara sebagai senyawa anorganik dan organik. Umumnya kadar dalam tanah, air dan udara relatif rendah. Berbagai jenis aktivitas manusia dapat meningkatkan kadar ini, misalnya aktivitas penambangan yang dapat menghasilkan merkuri sebanyak 10.000 ton/tahun. Pekerja yang mengalami kontak dengan Merkuri dapat menderita berbagai jenis penyakit yang membahayakan.

2.4.5. Bahaya Air Lindi

Masuknya zat kimia yang ada dalam air lindi ke dalam ekosistem perairan dapat mempengaruhi biota yang ada di lingkungan tersebut. Apabila di dalam ekosistem perairan terjadi pencemaran, dapat menyebabkan kematian biota atau mempengaruhi kegiatan fisiologis, proses makan, pembentukan sel dan fungsi jaringan sel suatu organ. Menurut Astuti, dkk. (2010) dalam Connel dan Miller 1983 ada tiga poin bahaya air lindi bagi lingkungan dan kehidupan, yaitu pencemaran air tanah, air lindi yang terpapar dalam volume tinggi di tanah dapat menyerap hingga menyentuh pori-pori tanah. dampaknya, air tanah yang banyak dimanfaatkan masyarakat melalui air sumur pun ikut tercemar. Hal ini tentunya sangat merugikan, mengingat air tanah masih menjadi salah satu sumber air utama bagi masyarakat Indonesia, khususnya yang berada di wilayah yang masih kesulitan akses air bersih. Poin selanjutnya menurunkan kualitas air, air lindi yang tidak melalui pengolahan sebelum dibuang ke badan air ternyata dapat merusak lingkungan. Limbah cair ini dapat mengubah komposisi dari badan air, yang dapat

berdampak pada matinya ekosistem air yang terdiri dari flora dan fauna. Apalagi jika air lindi tersebut mengandung zat beracun, tentunya keseimbangan ekosistem dapat terganggu dan dapat menimbulkan dampak jangka panjang seperti krisis air tanah atau juga punahnya suatu spesies. Pada poin selanjutnya yaitu roda ekonomi yang ikut terganggu, seperti yang kita ketahui, air lindi biasanya berbau menyengat yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi lingkungan sekitar. Hal ini tidak hanya dapat mempengaruhi warga sekitar saja, tapi juga banyak bisnis. Contohnya seperti bisnis perhotelan dan juga warung makan yang terpapar bau tidak sedap dari TPA , dapat saja mengalami penurunan pelanggan akibat lokasi bisnisnya berada di sekitar sumber limbah tersebut.

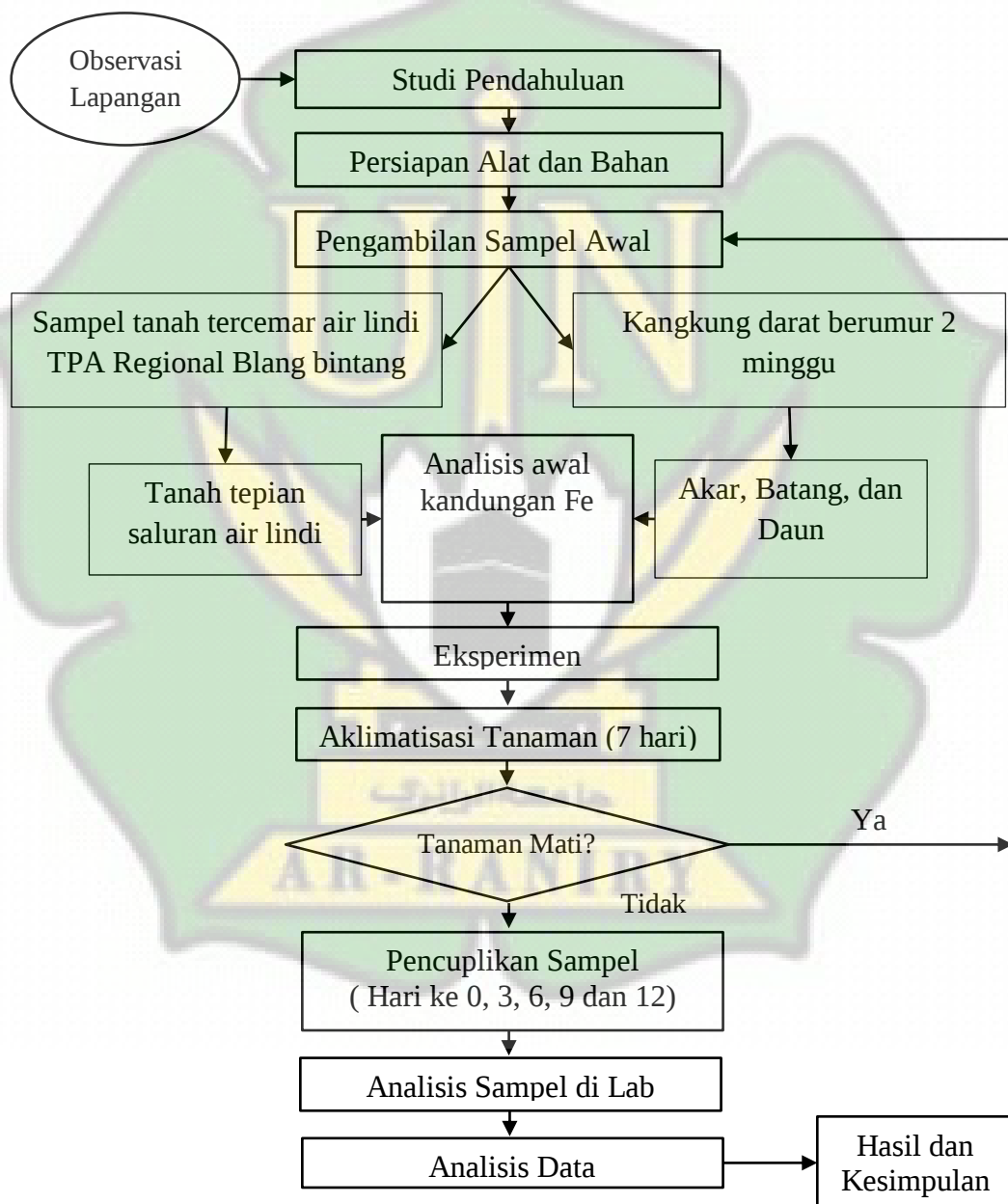


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat diagram alir pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

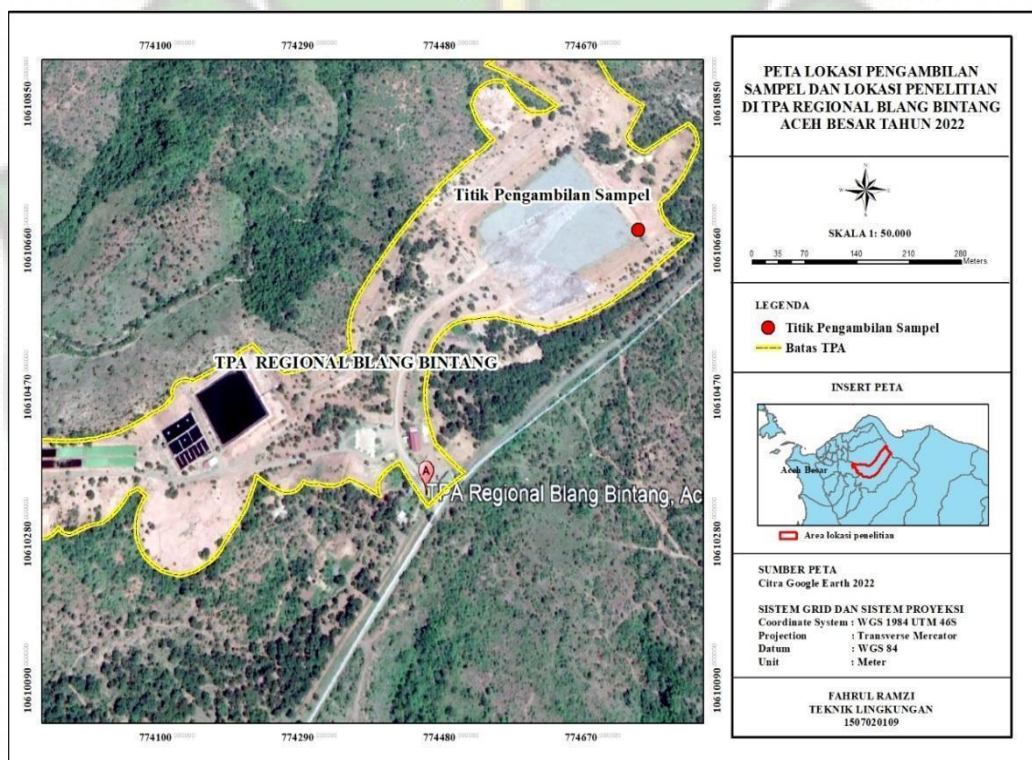
Berdasarkan Gambar 3.1 di atas, tahapan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan. Tahapan observasi lapangan untuk mengamati secara langsung keadaan eksisting TPA Regional Blang Bintang.
2. Studi Pendahuluan. Tahapan studi pendahuluan untuk mencari informasi terkait penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan literatur jurnal, skripsi dan buku.
3. Pengambilan sampel tanah. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah yang diambil dari pinggiran saluran air lindi TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar.
4. Pengambilan sampel tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) berumur 2 minggu dari tempat pembenihan di Kp Rukoh, Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh.
5. Pengujian awal kandungan Fe dan pH pada sampel tanah dan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dilakukan di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri (Baristand) Banda Aceh.
6. Persiapan tanaman. Disiapkan tanaman kangkung darat (*ipomea reptans poir*) yang telah berumur 2 minggu sebanyak 50 tanaman.
7. Aklimatisasi tanaman kangkung darat (*ipomea reptans poir*). Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan menggunakan tanah tercemar air lindi dari TPA Regional Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar, selama 7 hari. Apabila tanaman mati maka proses penanaman diulang kembali.
8. Pembuatan media tanam. Media tanam yang akan digunakan pada penelitian ini adalah plot media tanah yang tercemar air lindi berukuran 0.5 m x 1,5 m.
9. Pengamatan tanaman. Tanaman yang telah melewati masa aklimatisasi selanjutnya diamati, dimulai pada hari ke 3, 6, 9, dan 12. Sampel yang telah diambil tidak digunakan lagi.
10. Tahapan Analisis sampel. Tanaman kangkung darat yang telah diberi perlakuan pada hari ke 3, 6, 9, 12 diukur konsentrasi logam berat Fe yang terdapat pada akar, batang, dan daunnya menggunakan SSA (*Spektrofotometer Serapan Atom*). Pengujian Proses preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Baristand Banda Aceh.

11. Analisis Data. Data yang telah diperoleh akan dianalisis menjadi informasi yang bermanfaat untuk solusi permasalahan pada lingkungan, dan akan mempermudah peneliti untuk menarik kesimpulan.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di TPA Regional Blang Bintang. Desa Data Makmur, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar. Penelitian ini dilaksanakan selama 1 bulan, dimulai dari bulan Mei 2022 sampai dengan Juni 2022. Lokasi penelitian lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.3. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk menguji kemampuan fitoremediasi logam Fe menggunakan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) pada tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang. Teknik pengumpulan data parameter diperoleh dari hasil uji laboratorium. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan sekunder. Data primer bersumber dari data

penelitian secara langsung yaitu hasil pengujian tanaman kangkung darat dalam menyerap Fe pada tanah tercemar air lindi dan data sekunder bersumber dari literatur-literatur untuk menyempurnakan penelitian.

Penelitian tidak dilakukan di laboratorium melainkan dilakukan secara langsung di lapangan guna untuk mengetahui kemampuan kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam menyerap Fe pada tanah tercemar air lindi. Sehingga penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol karena tidak bertujuan membandingkan melainkan mengetahui kemampuan kangkung darat tersebut.

3.4. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat 2 (dua) variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dimana variabel bebas yaitu waktu pengambilan sampel (3, 6, 9 dan 12 hari) dan variabel terikat yaitu media tanaman (tanah tercemar lindi), jenis tanaman yang dipakai yaitu tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dengan umur 2 minggu. Respon yang diamati adalah penyerapan Fe oleh tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*).

3.5. Alat - alat

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendukung penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat	Bahan
1	Cangkul 1 buah	Plot tanah tercemar air lindi berukuran 0,5 m x 1,5 m.
2	Plastik sampel sebanyak 6 buah	50 tanaman kangkung darat (<i>Ipomea reptans Poir</i>) berumur 2 minggu.
3	Penggaris ukuran 45 cm	Tanah tercemar lindi TPA Regional Blang Bintang
4	Kamera	Tanah humus 10 kg
5	Pulpen	
6	Buku	
7	Masker	
8	Parang	

3.6. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

3.6.1 Pengambilan Sampel Awal

1. Pengambilan Sampel Tanah Tercemar Air Lindi TPA Regional Blang Bintang.

Tanah yang ada di pinggir saluran air lindi TPA Regional Blang Bintang diambil dengan metode *random sampling* pada kedalaman 0-20 cm, kemudian tanah dimasukan kedalam karung, dikering anginkan selama 3 hari, ditumbuk dan disaring menggunakan saringan untuk memisahkan ranting atau batu dari tanah (Siahaan, dkk., 2014).

2. Pengambilan Sampel Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

Sampel tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman kangkung darat yang telah berumur 2 minggu, dengan ciri memiliki tinggi 10 cm, dan memiliki 6 - 7 helai daun (Irawati, 2013). Tanaman yang digunakan didapat dari tempat penyemaian yang terletak di Kp Rukoh, Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh.

3.6.2 Pembuatan Plot Media Tanam

Media tanam yang digunakan pada penelitian ini adalah plot tanah berukuran 0,5 m x 1,5 m yang dibuat di pinggir saluran air lindi TPA Regional Blang Bintang, adapun tujuan peneliti membuat plot media tanam berbentuk memanjang adalah agar tanaman berada lebih dekat dengan air lindi. Setelah plot diukur selanjutnya tanah digemburkan menggunakan cangkul, dan dibersihkan dari tanaman liar dan sampah yang dapat mengganggu penelitian.

3.6.3 Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman merupakan proses awal yang perlu dilakukan dalam melakukan fitoremediasi menggunakan tanaman, dimana proses aklimatisasi bertujuan agar tanaman yang akan digunakan dapat beradaptasi dengan lingkungan barunya, dalam penelitian ini peneliti menggunakan media aklimatisasi dengan menggunakan campuran tanah humus dan tanah tercemar lindi dengan perbandingan 20/50, dengan tanah humus 4 kg dan tanah tercemar

lindi sebanyak 16 kg, kemudian tanah dicampur dan tanaman dibiarkan selama 7 hari, apabila dalam proses aklimatisasi tanaman mati maka proses diulang kembali dan dilakukan pengurangan tanah tercemar lindi. Tanaman yang nantinya digunakan adalah tanaman kangkung darat yang memiliki ciri fisik yang seragam dan terlihat sehat.

3.6.4 Penanaman Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

Disiapkan tanaman kangkung darat berumur 2 minggu sebanyak 50 tanaman, yang sebelumnya telah melewati proses aklimatisasi, lubangi plot tanah yang telah disiapkan sebelumnya kurang lebih 10 cm x 10 cm, setelah penanaman selesai siram tanaman menggunakan air bersih pada pagi dan sore hari. Diamati tanaman selama 3, 6, 9, dan 12 hari.

3.6.5 Analisa Sampel

Analisa kandungan Fe pada tanah hanya dilakukan sebelum perlakuan sedangkan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu kandungan Fe. Proses preparasi sampel dan analisa sampel dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri (BARISTAND) Banda Aceh.

1. Analisa Sampel Tanah Tercemar Air Lindi TPA Regional Blang Bintang.

Tanah yang telah diambil kemudian dipreparasi dan dianalisa untuk melihat pH dan kandungan Fe tanah. Analisis Fe dilakukan dengan cara menimbang tanah sebanyak 1 gr, ditambahkan asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCL) kemudian dipanaskan dengan *hot plate* selama ± 3 jam. Sampel disaring dan diencerkan menggunakan aquades sebanyak 50 ml. Sampel tanah siap diukur menggunakan SSA. Selanjutnya untuk mengukur pH tanah dilakukan dengan cara menimbang tanah sebanyak 1 gr dan diencerkan dengan aquades sebanyak 50 ml, pH dapat diukur menggunakan pH meter (Mustafidah, 2016).

2. Analisa Sampel Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

Analisa sampel tanaman kangkung darat dilakukan sebanyak 4 kali yaitu pada hari ke 3, 6, 9, dan 12. Sampel yang akan diuji terlebih dahulu dicuci dengan air bebas ion untuk menghilangkan debu dan kotoran lainnya yang dapat

mengganggu hasil analisis. tanaman kangkung darat tersebut secepatnya dikeringkan dalam oven berkipas, bila perlu sebelumnya dipotong-potong agar pengeringan lebih cepat dan oven diset pada suhu 70°C. Kangkung darat yang telah kering kemudian digiling dengan grinder mesin yang menggunakan filter dengan kehalusan 0,5 mm. Sampel yang telah digiling dimasukkan ke dalam botol plastik ditutup rapat-rapat agar tidak terkontaminasi dan diberi nomor urut sesuai dengan nomor percobaan atau perlakuan, sampel siap untuk dilakukan pengujian kandungan Fe.

3. Analisa Morfologi Tanaman

Tanaman kangkung darat yang digunakan dalam penelitian dilakukan pengamatan kondisi fisiknya berupa jumlah daun, tinggi tanaman, warna daun, berat basah dan berat kering tanaman kangkung darat setelah melewati proses fitoremediasi.

3.7. Analisa Biokonsentrasi Faktor (BCF) dan Translokasi Faktor (TF)

Menurut Mustafidah (2016) kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam juga dapat diukur dengan nilai biokonsentrasi faktor (BCF) dan translokasi faktor (TF). Akumulasi logam berat dihitung dengan Biokonsentrasi Faktor (BCF), yang digunakan untuk menghitung kemampuan akar, batang, dan daun dalam mengakumulasi logam berat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BCF = \frac{Fe \text{ pada akar, batang atau daun}}{Fe \text{ pada tanah}}$$

Menurut Baker (dalam I komang dkk, 2018) tanaman dapat dikategori menjadi 3 yaitu :

1. Akumulator : apabila nilai $BCF > 1$. Akumulator adalah tanaman yang dapat menimbun konsentrasi logam yang tinggi dalam jaringan tanamannya bahkan melebihi konsentrasi di dalam tanah.
2. Excluder : apabila nilai $BCF < 1$. Excluder adalah tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi.

3. Indikator : apabila nilai BCF = 1. Kategori tanaman sebagai bioindikator yaitu tanaman mentoleransi keberadaan konsentrasi logam dengan menghasilkan senyawa pengikat logam atau mengubah susunan logam dengan menyimpan logam pada bagian yang tidak sensitif.

Analisa TF digunakan untuk menghitung proses translokasi logam berat dari akar ke daun. Perhitungan TF yang digunakan oleh Baker (dalam I komang dkk, 2018) dengan rumus sebagai berikut:

$$TF = \frac{\text{logam berat pada daun}}{\text{logam berat pada akar}}$$

Dengan nilai TF menurut Baker (dalam I komang dkk, 2018) sebagai berikut:

1. TF >1 : Mekanisme fitoekstraksi. Fitoekstraksi adalah proses penyerapan logam berat oleh akar tanaman yang kemudian ditranslokasikan menuju batang dan daun.
2. TF <1 : Mekanisme fitostabilisasi. Fitostabilisasi adalah proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah tanaman menstabilkan polutan dalam tanah, sehingga membuat logam berat tidak berbahaya.

3.8. Analisis Data

Analisis data merupakan proses penting dalam sebuah eksperimen, hal ini dikarenakan data yang telah didapatkan selama penelitian perlu dilakukan pengolahan agar dapat disimpulkan dan hasilnya sesuai dengan kaidah ilmiah dan mudah untuk dipahami oleh khalayak. Data yang telah diperoleh akan dianalisis menjadi informasi yang bermanfaat untuk solusi permasalahan pada lingkungan, dan akan mempermudah peneliti untuk menarik kesimpulan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Sampel Awal

Berdasarkan hasil analisis sampel awal pada tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar yang dilakukan dengan pengujian laboratorium di Balai Riset dan Standardisasi Industri (BARISTAND) Banda Aceh diperoleh data dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil Uji Sampel Awal Tanah Air Lindi

No	Parameter Uji	Satuan	Metode Uji	Hasil Uji	Baku Mutu*
1	Besi (Fe)	mg/kg	AAS	1.150,56	50
2	Tembaga (Cu)	mg/kg	AAS	<0,0008	2
3	Kromium (Cr)	mg/kg	AAS	<0,0009	2,5
4	pH	mg/kg	Elektrometri	7,92	6-9

Sumber: Laporan Hasil Uji Baristand (2022)

*Permen Lhk RI No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa hasil uji sampel awal tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar memiliki kandungan Fe yaitu sebesar 1.150,56 mg/kg. Sedangkan logam berat Cu dan Cr kurang dari 0,001mg/kg artinya tidak terdeteksi karena konsentrasi di bawah limit deteksi alat (<0,001 mg/g). Adapun pH yang dimiliki oleh tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang yaitu 7,92. Kandungan pH tersebut masih berada pada rentang standar baku mutu pH (6,0 – 9,0) sesuai dengan Permen LH P.59/2016 tentang baku mutu air lindi.

Hasil tersebut memberikan informasi bahwa kandungan Fe sangat tinggi di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar. Hal ini disebabkan karena TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar merupakan tempat timbunan sampah terbesar di Provinsi Aceh dengan jumlah sampah yang masuk per hari kurang lebih 200 ton. TPA tersebut melayani sampah dari Banda Aceh dan Aceh Besar. Dengan tingginya jumlah sampah yang masuk tingginya kandungan Fe dalam tanah tercemar air lindi karena akumulasi dari hasil dekomposisi sampah organik dan anorganik yang ditimbun di TPA. Agustina (2010) juga menjelaskan bahwa penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya adalah

karena sifatnya yang tidak dapat dihancurkan (*nondegradable*) oleh organisme hidup yang ada di lingkungan. Akibatnya, logam-logam tersebut terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi.

Didukung oleh penelitian Hartati (2017) bahwa terdapat jumlah kandungan Fe dalam tanah tercemar air lindi yang berjumlah 133,07 mg/kg. Jumlah tersebut lebih besar dari kandungan logam berat lain, dimana Mn berjumlah 11,38 mg/kg, Zn berjumlah 7,31 mg/kg, dan Cu berjumlah 0,2 mg/kg.

4.2. Analisis Penyerapan Fe oleh Kangkung Darat

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh mengenai kemampuan daya serap, pengaruh lama waktu tinggal, dan analisis perhitungan Biokonsentrasi Faktor (BCF) dan Translokasi Faktor (TF) oleh tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) terhadap logam berat besi (Fe) diperoleh data sebagai berikut:

1. Daya serap Fe oleh Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*) dan Pengaruh Lama Waktu Tinggal

Berdasarkan hasil uji Laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan Universitas Syiah Kuala mengenai daya serap Fe oleh kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) diperoleh hasil dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Konsentrasi Fe dan Lama Waktu Tinggal Oleh Kangkung Darat

No	Sampel	Hari	Konsentrasi Fe (mg/kg)
1	Akar	3	8,935
		6	10,282
		9	11,096
		12	12,063
2	Batang	3	7,304
		6	8,015
		9	8,881
		12	11,507
3	Daun	3	4,103
		6	4,546
		9	5,127
		12	8,148

Sumber: Lab Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan Unsyiah (2022)

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas diketahui bahwa jumlah kandungan logam Fe pada sampel kangkung darat yang terdiri dari akar, batang, dan daun memiliki hasil yang beragam. Hasil tersebut menunjukkan peningkatan pada setiap jenis sampel yang diuji berdasarkan pengaruh lama waktu tinggal. Pada akar, jumlah kadar Fe pada hari ke 3 setelah tanam (HST) diperoleh hasil yaitu 8,935 mg/kg, pada hari ke 6 jumlah kandungan Fe yaitu meningkat yaitu 10,282 mg/kg, sedangkan pada hari ke 9 kandungan Fe terus meningkat menjadi 11,096 mg/kg, dan pada hari ke 12 kandungan Fe terus mengalami peningkatan yaitu 12,063 mg/kg.

Tingginya jumlah kandungan Fe pada akar tanaman kangkung dipengaruhi oleh sifat serapan yang dilakukan oleh akar tanaman. Dimana salah satu fungsi akar adalah untuk menyerap unsur hara dari dalam tanah guna ditransferkan ke seluruh tubuh tanaman. Akar merupakan organ utama tanaman yang bersentuhan langsung dengan tanah yang dapat menyerap berbagai unsur hara yang terdapat di dalam tanah salah satunya yaitu Fe. Dari hasil penelitian tersebut kandungan Fe pada akar pada hari ke 3 sampai hari ke 12 terjadi peningkatan. Peningkatan tersebut diketahui bahwa kandungan Fe yang terserap tersebut belum sepenuhnya ditransferkan ke bagian organ lain seperti batang dan daun.

Seperti penjelasan Suryaningsih, dkk. (2018) bahwa organ akar, batang dan daun merupakan alat hara yang berguna untuk penyerapan, pengolahan, pengangkutan dan penimbunan zat-zat makanan. Organ akar mempunyai fungsi yang sangat penting bagi kelangsungan hidup suatu tumbuhan. Akar bagi tumbuhan mempunyai tugas untuk memperkuat berdirinya tumbuhan, sebagai tempat untuk penimbunan makanan, menyerap air dan zat-zat makanan ke tempat-tempat pada tubuh tumbuhan yang memerlukan. Sesuai dengan penelitian Priyanti dan Yunita (2013) yang melakukan uji kemampuan daya serap tumbuhan genjer (*limnocharis flava*) terhadap Fe dan Mn menunjukkan bahwa organ akar tanaman genjer mampu menyerap Fe dan Mn lebih besar dibandingkan organ batang dan daun. akumulasi Fe dan Mn terlihat tinggi di akar. Hal ini dikarenakan akar langsung bersinggungan dengan media tanam yang terkontaminasi Fe dan Mn. Melalui akar, Fe dan Mn diserap oleh tanaman kemudian didistribusikan ke daun melalui batang.

Pada batang, jumlah kandungan Fe pada hari ke 3 yaitu 7,304 mg/kg, pada hari ke 6 jumlah kandungan Fe meningkat menjadi 8,015 mg/kg, pada hari ke 9 jumlah kandungan Fe yaitu 8,881 mg/kg. Sedangkan pada hari ke 12 jumlah kandungan Fe yaitu 11,507mg/kg. Sedangkan pada daun, jumlah kandungan Fe pada hari ke 3 yaitu 4,103 mg/kg, pada hari ke 6 meningkat menjadi 4,546 mg/kg, pada hari ke 9 jumlah kandungan Fe yaitu 5,127 mg/kg. Sedangkan pada hari ke 12 peningkatan mencapai 8,148 mg/kg. Hasil yang diperoleh tersebut diketahui bahwa jumlah kandungan Fe pada batang lebih tinggi dibandingkan pada daun. Namun kandungan Fe pada kedua organ tersebut seiring dengan pertambahan waktu menunjukkan peningkatan. Tingginya kandungan Fe pada batang dibandingkan pada daun ini dikarenakan batang merupakan organ yang dimiliki oleh tanaman setelah akar. Zat serapan yang diserap oleh akar akan diteruskan ke organ lain yang dibutuhkan oleh tanaman melalui batang. Selain itu batang juga merupakan organ yang memiliki fungsi untuk menyimpan zat unsur hara sebagai cadangan makanan. Pernyataan ini didukung oleh Khairuddin (2017) bahwa batang merupakan organ kedua setelah akar, kandungan logam-logam mineral paling tinggi terdapat pada organ batang karena batang merupakan jalan pengangkutan air dan zat-zat makanan dari bawah ke atas dan jalan pengangkutan

hasil asimilasi dari atas ke bawah. Jadi, setelah penyerapan ion-ion yang pertama kali dilakukan oleh akar, batang menjadi organ kedua yang dilewati oleh ion-ion tersebut untuk menuju daun. Air dan unsur hara sedikit dijumpai pada daun hal ini dikarenakan daun mengalami proses penguapan atau biasa dikenal dengan proses transpirasi. Katipana (2015) juga menambahkan bahwa tumbuhan mampu menyerap ion-ion dalam lingkungannya kedalam tubuh melalui membran sel. Ion-ion yang diserap oleh tumbuhan berupa ion-ion esensial dan garam-garam mineral yang diperlukan untuk menunjang pertumbuhannya, yaitu dengan proses hara tanah bergerak ke atas dari akar di atas tanah dalam unsur trakea (yaitu trakea atau komponen pembuluh) xilem. Bahan anorganik yang diserap dari tanah oleh sel-sel akar yang hidup dilewatkan ke dalam lumen berair dari unsur trakeid, lalu terbawa ke atas pada aliran transpirasi yang diatur oleh penyerapan air dari daun serta bagian-bagian diatas tanah. Beberapa macam terlarut anorganik mungkin akan terserap sepanjang jalur ini oleh sel-sel hidup yang berdampingan dengan unsur-unsur trakeid, tetapi sebagian besar air dan bahan terlarut yang larut dalam air akan mencapai daun.

Hasil penelitian Haruna, dkk. (2017) juga menunjukkan hal yang sama. pengujian mengenai fitoremediasi pada media tanah yang mengandung Cu dengan tanaman kangkung darat menunjukkan hasil bahwa akar kangkung darat merupakan organ yang paling besar menyerap Cu daripada organ lain. Tanaman kangkung darat yang berumur 2 minggu Cu terdapat dalam akar sebanyak 5,3403 ppm, batang 5,1117 dan daun 2,6637. Pada usia 4 minggu berturut-turut pada akar, batang daun yaitu 10,6998, 5,8281 dan 2,0666 ppm. Sedangkan pada usia 6 minggu pada akar 10,4605, daun 9,1863 dan pada batang 7,7839 ppm.

2. Analisa Biokonsentrasi Faktor (BCF) dan Faktor Translokasi (TF)

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan mengenai biokonsentrasi faktor dan faktor translokasi kangkung darat dalam menyerap Fe diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan BFC

No	Hari	Parameter fe (mg/kg)			BCF akar	BCF batang	BCF daun	BCF total
		Akar	Batang	Daun				
1	3	8,935	7,304	4,103	0,007	0,006	0,003	0,017
2	6	10,282	8,015	4,456	0,008	0,006	0,003	0,019

3	9	11,096	8,881	5,127	0,009	0,007	0,004	0,021
4	12	12,063	11,507	8,148	0,010	0,010	0,007	0,027

*BCF < 1 / 0,007 < 1 = akumulator excluder

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas diketahui bahwa perolehan nilai Biokonsentrasi Faktor (BCF) yaitu sebesar 0,27 nilai tersebut lebih kecil dari 1 ($0,027 < 1$) dimana kemampuan kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam menyerap Fe pada penelitian ini yaitu tergolong dalam excluder, yaitu apabila nilai $BCF < 1$ tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi. Nilai BCF yang diharapkan tidak tercapai, dimana nilai yang diharapkan yaitu > 1 , karena nilai BCF 1-10 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator tinggi, 0,1-1 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator sedang dan 0,01-0,1 menunjukkan tumbuhan tergolong non-akumulator (Tuheteru, dkk., 2017). Sehingga tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam menyerap Fe di tanah tercemar air lindi di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar tergolong juga sebagai non-akumulator. Hal tersebut juga memberikan informasi bahwa tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) tidak banyak mengakumulasi Fe dari tanah tercemar air lindi. Sehingga diketahui bahwa kandungan Fe pada tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) masih dalam batas normal. Didukung oleh penelitian Handayani, dkk. (2018) bahwa pada umbi nilai biokonsentrasi di semua perlakuan < 1 . Hal tersebut menunjukkan bahwa umbi tidak banyak mengakumulasi logam berat Cd dari tanah. Sehingga diharapkan kandungan logam berat Cd pada umbi masih dalam batas normal dikonsumsi oleh manusia.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Translokasi Faktor (TF)

No	Hari	Parameter fe (mg/kg)			TF	TF
		Akar	Batang	Daun	batang	daun
1	3	8,935	7,304	4,103	0,817	0,459
2	6	10,282	8,015	4,456	0,779	0,433
3	9	11,096	8,881	5,127	0,800	0,462
4	12	12,063	11,507	8,148	0,953	0,675

*TF < 1 / 0,517 < 1 = fitostabilisasi

Hasil Translokasi Faktor (TF) berdasarkan Tabel 4.4 yaitu nilai Tf tertinggi sebesar 0,953 nilai tersebut juga lebih kecil dari 1 ($0,953 < 1$) dimana kemampuan kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam menyerap Fe pada penelitian ini yaitu tergolong dalam fitostabilisasi, yaitu apabila nilai $TF < 1$ proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah tanaman menstabilkan polutan dalam tanah, sehingga membuat logam berat tidak berbahaya. Tergolongnya tanaman kangkung darat sebagai fitostabilisasi Fe melainkan bukan sebagai bioekstraktor dalam penelitian ini diduga karena masa uji penelitian yang dilakukan terlalu singkat yaitu 12 hari. Adapun jika dilakukan masa perlakuan yang lebih lama maka besar kemungkinan tanaman kangkung darat tersebut tergolong dalam bioekstraktor.

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Suchaida, dkk., (2015) yang melakukan fitoremediasi kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) terhadap lumpur sidoarjo selama 28 hari. Hasil diketahui bahwa tanaman kangkung darat berpotensi sebagai fitoremediator endapan lumpur Sidoarjo dengan kemampuan menyerap Fe sebesar 13,9%. Tanaman kangkung yang ditanam pada media lumpur Sidoarjo akan menyerap logam dan menghasilkan bobot tanaman terendah 5,07 g/tanaman. Pemberian media tambahan tanah dan pupuk kandang pada media lumpur Sidoarjo dengan perbandingan (0,5:0,5:1) dapat menurunkan serapan logam dan mampu meningkatkan hasil tanaman hingga 16,63 g/tanaman dengan Fe 6,88%, dibandingkan media lumpur Sidoarjo sebesar 8,37 g/tanaman dengan Fe 13,9%. Suchaida, dkk. (2015) menjelaskan bahwa Genus *ipomea* mampu menyerap unsur Fe dengan waktu penyerapan optimum. Penjelasan tersebut diperkuat oleh Fitter and Hay (2019) bahwa tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion dari lingkungannya kedalam tubuh melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh tumbuhan adalah faktor konsentrasi, dimana kemampuan tumbuhan dalam menyerap ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya, dan perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan.

Alih sesuai dengan penelitian diatas, penelitian ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Handayani, dkk., (2018) dimana pada penelitian tersebut nilai translokasi pada umbi menunjukkan nilai < 1 di semua perlakuan sehingga tergolong sebagai fitostabilisasi. Kesamaan ini terjadi karena pengaruh waktu tinggal tanaman dalam menyerap logam berat didalam tanah yang sangat singkat. Penelitian Handayani, dkk. (2018) bahwa lama waktu tinggal untuk tanaman umbi dalam menyerap logam berat Cd yaitu hanya satu minggu. Hal ini tidak terlalu berbeda dengan penelitian ini yaitu dimana masa uji yang dilakukan fitoremediasi kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) terhadap Fe hanya 12 hari.

4.3. Analisis Morfologi Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*)

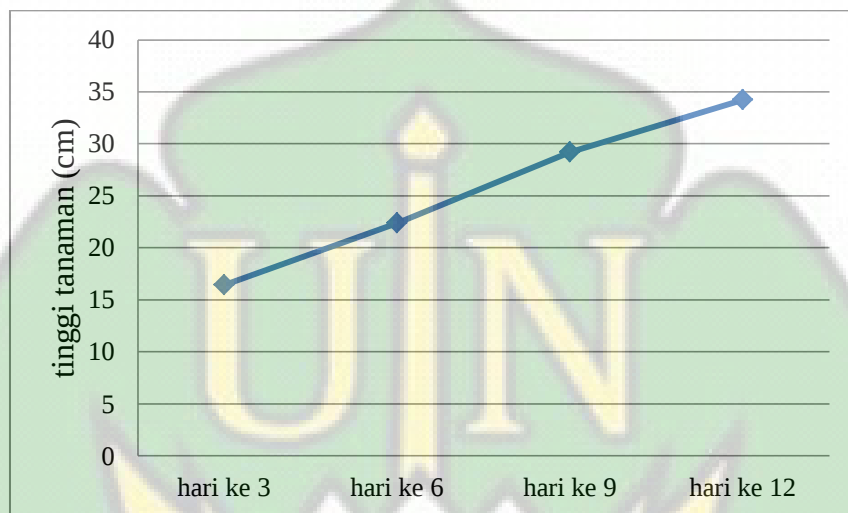
Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh mengenai morfologi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam menyerap Fe diperoleh data dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Parameter Morfologi Tanaman Kangkung Darat

No	Parameter	Hari	Jumlah
1	Tinggi Tanaman	3	16,43 cm
		6	22,36 cm
		9	29,18 cm
		12	34,22 cm
2	Panjang Akar	3	5,34 cm
		6	5,62 cm
		9	6 cm
		12	6,16 cm
3	Jumlah Daun	3	8 helai
		6	8 helai
		9	8 helai
		12	9 helai
4	Diameter Batang	3	0,32 cm
		6	0,34 cm
		9	0,47 cm
		12	0,58 cm

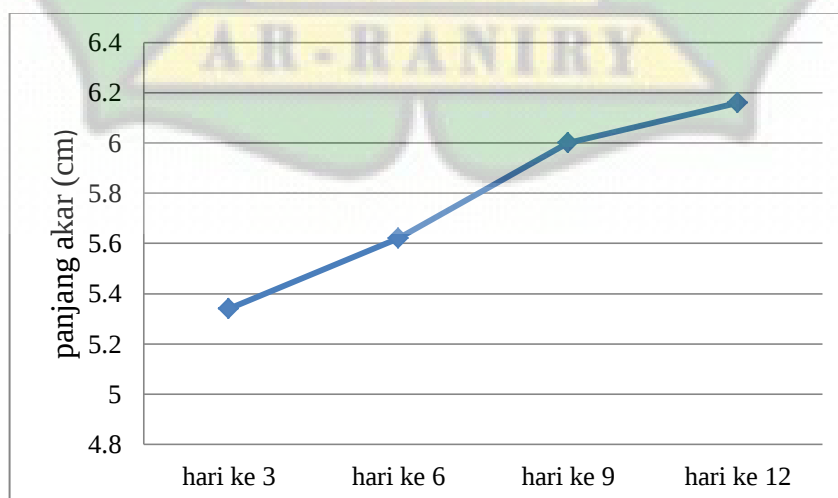
Berdasarkan Tabel 4.5 diatas diketahui bahwa parameter morfologi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) selama penyerapan logam berat besi (Fe) memiliki hasil yang beragam pada setiap waktu pengamatan. Tinggi tanaman darat pada hari ke 3 yaitu 16,43 cm, kemudian pada hari ke 6 terjadi

pertambahan ketinggian yaitu 22,36 cm, pada hari ke 9 pertambahan ketinggian terus terjadi hingga 29,18 cm, dan pada hari ke 12 ketinggian tanaman mencapai 34,22 cm. Tingginya tanaman kangkung tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan tanaman yang terjadi. Dimana suatu tumbuhan yang ditanam pada media yang sesuai dan mencukupi kebutuhannya maka tanaman tersebut akan tumbuh, pertumbuhan tanaman kangkung darat dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Pertambahan Tinggi Kangkung Darat

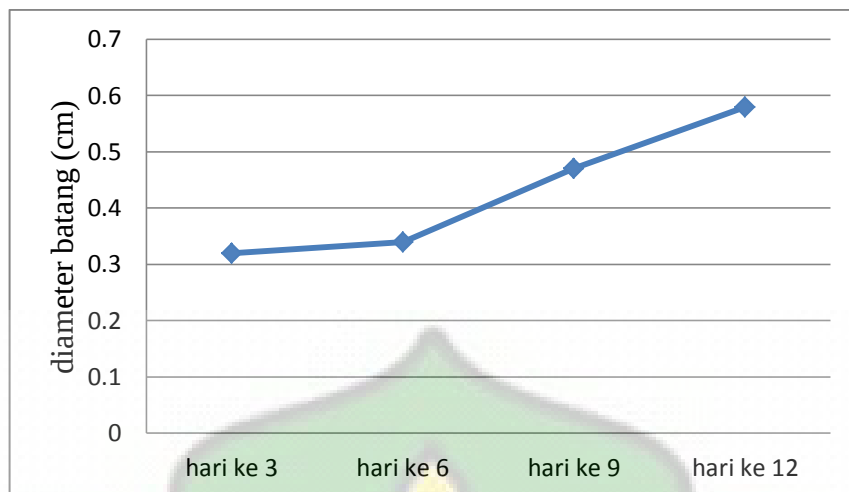
Pada panjang akar tanaman kangkung juga terjadi peningkatan selama waktu pengamatan. Dimana pada hari ke 3 tinggi tanaman yaitu 5,34 cm, pada hari ke 6 bertambah menjadi 5,62 cm, pada hari ke 9 panjang akar mencapai 6 cm, sedangkan pada hari ke 12 panjang akar bertambah menjadi 6,16 cm, pertumbuhan akar tanaman kangkung darat dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Pertambahan Panjang Akar Kangkung Darat

Adapun jumlah daun tanaman kangkung darat selama masa pengamatan juga memiliki hasil yang tidak berbeda kecuali pada hari terakhir yaitu pada hari ke 12 dengan jumlah daun 9 daun. Sedangkan sebelumnya memiliki jumlah daun yang sama yaitu 8 daun. Artinya selama 12 hari setelah masa penanaman pada lokasi penelitian terjadi pertambahan dengan jumlah 1 daun. Sedangkan diameter batang tanaman kangkung darat selama pengamatan juga teramati memiliki data yang tidak jauh berbeda. Diameter batang pada hari ke 3 yaitu 0,32 cm, kemudian pada hari ke 6 yaitu 0,34 cm, pada hari ke 9 yaitu 0,47 cm, dan pada hari ke 12 yaitu 0,58 cm.

Hal ini diketahui bahwa diameter tanaman kangkung darat mengalami pertambahan ukuran seiring dengan pertambahan waktu walaupun tidak secara signifikan. pertumbuhan tersebut tidak terlepas dari parameter sebelumnya dimana yaitu tinggi tanaman, panjang akar, dan jumlah daun. Pertumbuhan diameter batang tanaman berhubungan sangat kuat terhadap parameter pertumbuhan lainnya seperti tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, dan berat kering tanaman. Proses translokasi unsur hara yang berjalan lancar pada tanaman kangkung darat dapat mempengaruhi aktivitas pembelahan dan perpanjangan sel. Laju pembelahan sel dan perpanjangan sel serta pembentukan jaringan mempengaruhi pertumbuhan batang, daun dan akar. Pertambahan diameter batang diakibatkan oleh adanya aktivitas kambium yaitu xilem dan floem pada meristem lateral tanaman. Adapun grafik diameter tanaman kangkung darat dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Diameter Batang Tanaman Kangkung Darat

Hasil analisis morfologi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) selama masa penyerapan Fe di TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar menunjukkan proses pertumbuhan yang baik. Hal ini dapat dilihat dengan data yang diperoleh bahwa tanaman kangkung darat dapat tumbuh dengan baik selama masa pengamatan. Tinggi tanaman, panjang akar, jumlah daun, dan diameter batang terus terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu. Pertumbuhan tanaman kangkung tersebut juga karena media tanam yang ditanami kangkung darat merupakan media yang cocok untuk syarat tumbuhnya, yaitu pada tanah darah atau tidak tergenang air namun memiliki kecukupan air yang baik. Seperti penjelasan Ningsih, dkk. (2016) bahwa kangkung darat dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang tidak tergenang air (kondisi aerob). Karena lahan kering dapat menyediakan segala kebutuhan tanam lebih baik dibanding lahan basah.

Pada lahan kering, unsur hara dan oksigen yang dibutuhkan tanaman tersedia dalam jumlah yang cukup banyak di lahan kering. Demikian pula, air juga cukup tersedia di lahan kering, apabila cukup hujan atau diberi pengairan secukupnya. Sebaliknya, pada lahan basah, ketiga unsur tersebut (unsur hara, oksigen, dan air) kurang tersedia. Menurut Hanafiah (2004) tanah yang jenuh dengan air dapat menyebabkan terhambatnya aliran udara ke dalam tanah, sehingga mengganggu respirasi dan serapan hara oleh akar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kandungan Fe pada akar di hari ke 3 yaitu 7,935 mg/kg, pada hari ke 6 yaitu 10,282 mg/kg, pada hari ke 9 yaitu 1,096 mg/kg, dan pada hari ke 12 yaitu 1,063 mg/kg. Pada batang kandungan Fe pada hari ke 3 yaitu 12,304 mg/kg, pada hari ke 6 yaitu 13,015 mg/kg, pada hari ke 9 yaitu 13,281 mg/kg, pada hari ke 12 yaitu 12,507 mg/kg. Pada daun kandungan Fe pada hari ke 3 yaitu 11,103 mg/kg, pada hari ke 6 yaitu 10,546 mg/kg, pada hari ke 9 yaitu 11,127 mg/kg, dan pada hari ke 12 yaitu 12,148 mg/kg. Dari hasil tersebut Jumlah kandungan Fe terbanyak terdapat pada akar, kedua pada batang, dan paling sedikit terdapat pada daun. Kandungan Fe dalam organ tanaman kangkung darat mengalami peningkatan jumlah seiring lama waktu tinggal. Tanaman kangkung darat memiliki kemampuan akumulasi (BCF) tertinggi sebesar 0,027 nilai tersebut lebih kecil dari 1 ($0,027 < 1$) artinya kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) tergolong dalam tanaman akumulator excluder. Nilai Translokasi Faktor (TF) yaitu sebesar 0,953 nilai tersebut juga lebih kecil dari 1 ($0,953 < 1$) artinya kemampuan kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dalam mentranslokasikan Fe tergolong dalam tanaman fitostabilisasi, yaitu tanaman yang mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi tersebut merubah polutan yang sebelumnya berbahaya tidak berbahaya.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat disarankan agar dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dari penelitian ini yaitu dengan melakukan analisis kemampuan daya serap pada waktu tinggal yang lebih lama. selain itu dapat disarankan pada TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar menjadikan salah satu alternatif dengan menanam tanaman kangkung darat pada sekitar area tanah yang tercemar air lindi guna meremediasi Fe agar dapat tidak mencemari lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Aditya, DP. 2009. *Budidaya Kangkung*. Diakses pada tanggal 2 Juni 2022. Tersedia di: <http://dimasadityaperdana.blogspot.com>
- Aken, B. Van, Correa, P. A., & Schnoor, J. L. (2010). Phytoremediation of Polychlorinated Biphenyls: New Trends and Promises. *Environmental Science & Technology*, 44(8), 2767–2776.
- Albretsen J. (2006). The Toxicity of Iron, an Essential Element. *Veterinary medicine*. 82–90.
- Annisa Nur Farida., Dalya., 2016., *Peran Bakteri Bacillus cereus dan Pseudomonas Putida Dalam Bioremediasi Logam Berat (Fe, Cu, dan Zn) Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Agustina, T. (2010). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan dan Dampaknya Pada Kesehatan. *Teknubuga*, 2(2), 34-47.
- Astuti, D., Sarto., Iravati, S. (2010). Penurunan Toksisitas Leachate (Air Lindi) Dari TPA Putri Cempo Mojosoong Surakarta Dengan Pac (Poly Aluminum Chloride). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 17(1), 11-25.
- Budiyono, E Permadi dkk. 2014. *Analisa Klasifikasi Kadar Karat Emas Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (KNN)*. Tanjung Pinang
- Damanhuri, E. dan Padmi, T., 2019. *Diktat Kuliah TL-3104 Pengelolaan Sampah Bandung: Teknik Lingkungan*, Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Djuariah, D. 2007. Evaluasi Plasma Nutfah Kangkung di Darat Medium Rancaekek. *Jurnal Holtikultura*, 7(3): 756-762.
- EPA. (2011). *Reducing Greenhouse Gas Emissions through Recycling and Composting*. U.S.A: Seattle, WA.
- Fahrudin (2020). *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. (diterjemahkan oleh: Sri Andani dan E.D. Purbayanti). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. p. 67.
- Fernanda, L. (2012). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr), dan Cadmium, (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) dan Sifat Fraksionasinya pada Sedimen Laut. *Skripsi*. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

- Ghosh, M. and Singh, S.P. (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products. *Asian Journal on Energy & Environment*, 6, 214-231.
- Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367–
- Gupta, D. K., Huang, H. G., & Corpas, F. J. (2013). Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2150–2161.
- Hanafiah, K. A. (2004). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Handayani, C.O., Dewi, T., & Hidayah, A. 2018. Biokonsentrasi Dan Translokasi Logam Berat Cd Pada Tanaman Bawang Merah dengan Aplikasi Amelioran. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 841-845.
- Happy, A., Masyamsi., & Dhahiyat, Y. (2012). Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Pada Kolom Air dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 3(3), 175-182.
- Haruna, & Suleman, N. 2017. *Fitoremediasi Pada Media Tanah yang Mengandung Cu dengan Tanaman Kangkung darat*. *Jurnal Sainstek*, 6(06).
- Hartati, E. 2017. Studi Pengolahan Kandungan Ion Logam (Fe,Mn,Cu,Zn) Lindi Sampah Oleh Zeolit. *J. Sains MIPA, Edisi Khusus Tahun 2007*, 13(1), 29-34.
- Hasibuan, M. A. A. & Darnas, Y., Anas, A. A., 2020. *Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur*. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3).
- Irhamni., 2009, *Aplikasi Phytoremediasi dalam Penyisihan Ion Logam Kromium (Cr) Dengan Menggunakan Tumbuhan Air (Typha Latifolia)*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Irawati. Zuchrotus Salamah. (2018). Pertumbuhan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) dengan pemberian pupuk organik berbahan dasar kotoran kelinci. Vol.1 No 1. *Jurnal BIOEDUKATIKA*
- I Komang, Y., Pande Gde dkk. (2018). *Akumulasi Logam Berat Seng (Zn) pada Akar dan Daun Lamun Enhalus acoroides di Perairan Pantai Sanur, Bali*, Universitas Udayana, Bali.
- Karamina, H., Murti, A.T., Mujoko, T. 2021. Kandungan Logam Berat Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Br Pada Air Lindi di Tiga Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Dadaprejo, Kota Batu, Dau Dan Supit Urang, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*.,6 (2), 51-57.

- Katipana, D. D. (2015). Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica F*) di Kampus Unpatti Poka. *Biopendix*, 1(2), 143-149.
- Khlif & Hamza-Chaffai. (2010). Head and Neck Cancer Due to Heavy Metal Exposure Via Tobacco Smoking and Professional Exposure: A review. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1 (248), 71–88.
- Li, H.-Y., Wei, D.-Q., Shen, M., & Zhou, Z.-P. (2012). Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Diversity*, 54(1), 11–18.
- Liong, S., Noor, A., Taba, P., & Zubair, H. 2019. *Dinamika akumulasi kadmium pada tanaman kangkung darat (Ipomoea reptans Poir)*. *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*, 39-45.
- Mayani, N., Kurniawan, T., Marlina. (2015). Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea Reptans Poir*) Akibat Perbedaan Dosis Kompos Jerami Dekomposisi Mol Keong Mas. *Lentera*, 15(13). 59-63.
- Maria, G. M. 2009. Respon Produksi Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans Poir*) Terhadap Variasi Waktu Pemberian Pupuk Kotoran Ayam. *Jurnal Ilmu Tanah*, 7(1): 18-22.
- McBean, Edward A. (1995). *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Mustafidah, Z. 2016. *Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Logam Tembaga (Cu) menggunakan Tanaman Bunga Matahari (Helianthus annuus L.)*. Skripsi. Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Suska Riau. Pekanbaru.
- Ningsih, A., Mansyurdin., & Maideliza, T. (2016). Perkembangan Aerenkim Akar Kangkung Darat (*Ipomoea reptans Poir*) dan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica Forsk*). *Jurnal Biologi*, 9(1), 37-43.
- Khairuddin, K., Sikanna, R., & Sabaruddin, S. (2017). *Kajian Kemampuan Akar Tanaman Kangkung Darat (Ipomoea Reptans Poir) Dalam Menyerap Logam Merkuri Pada Tanah Tercemar*. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 3(3), 303-312.
- Olatunde.O. (2001). *Modeling Leachate Production in Heterogeneous Municipal Solid Waste Landfills*. Calgary: University Of Calgary.
- Pamela, R. Z. N. 2020. *Phytoremediation of lead on arid land: A review* (Doctoral dissertation, Uin Ar-Raniry).
- Pracaya. 2009. *Bertanam Sayur Organik*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Priambodho,K. (2005). *Kualitas Air Lindi Pada Tempat Pembuangan Akhir Sampah Galuga Kabupaten Bogor*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan P.59/2016 tentang Baku Mutu Air Lindi.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang *Baku Mutu Air Limbah*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang *baku mutu lindi bagi usaha dan /atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010. Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum
- Pinem., J.A., Peratenta, M, dan Heltina, D. 2014. *Pengolahan Limbah Cair Hotel. dengan Kombinasi Koagulasi, Flokulasi dan Filtrasi*. Laporan Penelitian Berbasis Laboratorium. Universitas Riau.
- Priyanti., & Yunita, E. 2013. Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (*Limncharis Flava*) Terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn). *Prosiding Semirata Fmipa Universitas Lampung*.
- Putra, R. S. 2017. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Kromium Dari Lindi Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria zizanioides)* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Rohaningsih, D., & Muntalif, B. S. 2015. *Akumulasi Logam Timbal (Pb) Pada Kangkung Darat (Ipomoea reptans Poir)*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 159-168.
- Sarma, H. (2011). Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 118–138.
- Saier, M. H., & Trevors, J. T. (2010). Phytoremediation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 205(S1), 61–63.
- Sedigul., Muhammad., 2021, *Pencemaran air tanah dangkal akibat lindi TPA sampah*, *Journal of environmental Science*.
- Siahaan, B., Sri, R, U., dan Eko H. 2014. *Fitoremediasi Tanah Tanah Tercemar Merkuri Menggunakan Lindernia crustacea, Digitaria radicata, dan Cyperus rotundus serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya*, 1(2):35-51.
- Sood, A., Uniyal, P. L., Prasanna, R., & Ahluwalia, A. S. (2012). Phytoremediation Potential of Aquatic Macrophyte, Azolla. *AMBIO*, 41(2), 122–137.

- Sari, R. N., & Afdhal, A. 2017. *Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93-99.
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Rehim, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171(2016), 710–721.
- Sukono, G.A.B., Hikmawan, F.R., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)* . Vol.2 No.02. 40-47.
- Suchaida, A., Wicaksono, K.P., Suryanto, A. (2015). Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans Poir*) Sebagai Fitoremediator Lumpur Sidoarjo, *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(6) 54-63.
- Suhaeni dan Ridha Yulyani Wardi. 2017. *Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Tanaman Kangkung Darat (Ipomoea Reptans Poir)*. *Dinamika*, 7 (2), 1-8.
- Supriyantini, E., dan Endrawati, H. 2017. *Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (Perna Viridis) Di Perairan Tanjung Emas, Semarang. Jurnal Kelautan Tropis*, 18.
- Suryaningsih, Said, I., Rahman, N. (2018). Analisis Kadar Kalsium (Ca) dan Besi (Fe) Dalam Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica Forsk*) dan Kangkung Darat (*Ipomea Reptans Forsk*) Asal Palu. *Jurnal Akademika Kimia*. 7(3), 130-135.
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S., (2004). Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – Biofilter Anaerobic. *Jurnal Tek Ling - P3TL – BPPT* , 5(01) 167 – 173.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011, 1–31.
- Torowati, Asminar dan Rahmiati. 2008. *Analisis Unsur Pb, Ni dan Cu Dalam Larutan Uranium Hasil Stripping Efluen Uranium Bidang Bahan Bakar Nuklir*. *Jurnal Batan*, 02, ISSN 1979-2409.
- Tuheteru F.D., Arif, A., Widiastuti, E., Rahmawati, N. (2017). Serapan Logam Berat oleh Fungi Mikoriza Arbuskula Lokal pada *Nauclea orientalis* L. dan Potensial untuk Fitoremediasi Tanah Serpentine. 11(1), 55-67.
- Usman, A.R.A., Alkredaa, R.S., Al-Wabel, M.I. (2013). Heavy Metal Contamination In Sediments And Mangroves From The Coast Of Red

Sea: *Avicennia* Sp. Marina As Potential Metal Bioaccumulator. *Ecotoxicol Environ Saf.* 97: 263-270.

Vamerali, T., Bandiera, M., & Mosca, G. (2010). Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(1), 1–17.

Visvanathan, C. (2004). *State of the Art Review Landfill Leachate Treatment. Environmental Engineering and Management School of Environment, Resources and Development*. Thailand: Asian Institute of Technology Klong Luang.

Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere*, 184, 594–600.

Widiyanto, T., 2019, *Kajian Dinamika Sedimen dan Dampaknya Terhadap Integritas Ekologis Daerah Mangrove dan Pesisir Kalimantan Timur*, Pusat Penelitian Limnologi, LIPI, Jakarta.

Widowati, Wahyu, dkk. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: ANDI

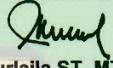
Widaningrum., Miskiyah., Suismono. 2007. *Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahan Cemarannya*. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian.

Zubair, A., Arsyad, A. dan Rosmiati, 2018. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dengan Aliran Batch*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Lampiran 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

[illegible]

Lampiran 2. Hasil Uji Sampel Awal

 Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA	BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI LABORATORIUM PENGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA) Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0615) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642 E-mail: brs_bna@yahoo.com Website: http://baristandaceh.kemenperin.go.id		 KAN Laboratorium Penguji LP-800-10K	
	LAPORAN HASIL UJI <i>Report of Analysis</i>			
Halaman : 1 dari 1 Page				
Tanggal Penerbitan : 03 September 2021 <i>Date of issue</i>		Nomor Laporan : 2170/LHU/LABBA/Baristand-Aceh/IX/2021 <i>Report Number</i>		
Kepada : Fahrul Ramzi To UIN AR – Raniry di – Banda Aceh		Nomor Analisis : Kim – 21 539 <i>Analysis Number</i>		
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa : <i>The undersigned certifies that examination</i>				
Dari Contoh : Tanah Tercemar Air Lindi <i>Of the Sample (s)</i>		Nomor BAPC : 221/Insd/Kim/8/2021 <i>BAPC Number</i>		
Keterangan contoh : Diantar <i>Identity</i>		Untuk Analisis : Sesuai Parameter Uji <i>For Analysis</i>		
Kode Contoh : "TPSR" <i>Code Sample</i>		Diambil dari : - <i>Taken from</i>		
Tanggal Sampling : - <i>Date Of Sampling</i>		Tanggal Penerimaan : 05 Agustus 2021 <i>Received On</i>		
Tanggal Analisis : 05 Agustus 2021 <i>Date of Analysis</i>		Hasil : <i>Results</i>		
No.	Parameter Uji	Satuan	Metode Uji	Hasil Uji
1	Besi (Fe)	mg/kg	AAS	1150,56
2	Tembaga (Cu)	mg/kg	AAS	< 0,0008*
3	Kromium (Cr)	mg/kg	AAS	< 0,0009*
4	pH	-	Elektrometri	7,92
Keterangan : *) = Bawah Limit Deteksi Metode				
BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH Manajer Teknik II LABBA  Nurlaila ST, MT NIP. 19621108 198303 2 002				
F.5.10.01.02		Terbit/Revisi : 3/1		

* Data Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
 * Dilarang menggandakan tanpa izin tertulis dari Baristand Industri Banda Aceh

Lampiran 3. Hasil Uji Laboratorium Konsentrasi Fe Pada Kangkung Darat Setelah Perlakuan

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon /Fax (0651) 7552222
Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: tpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 169/JTK/-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Fahrul Ramzi
Alamat Pelanggan : Rukoh-Banda Aceh
Tanggal di Terima : 21 April 2022
Jenis Contoh Uji : Tanaman Kangkung
Parameter Analisa : Besi (Fe)
Tanggal di Analisa : 27 April 2022
Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
Baku Mutu : -

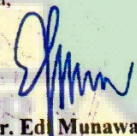
No.	Kode Contoh Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	Akar H-3	mg/kg	-	8,935	
2.	Batang H-3	mg/kg	-	7,304	
3.	Daun H-3	mg/kg	-	4,103	
4.	Akar H-6	mg/kg	-	10,282	
5.	Batang H-6	mg/kg	-	8,015	
6.	Daun H-6	mg/kg	-	4,546	
7.	Akar H-9	mg/kg	-	11,096	
8.	Batang H-9	mg/kg	-	8,881	
9.	Daun H-9	mg/kg	-	5,127	
10.	Akar H-12	mg/kg	-	12,063	
11.	Batang H-12	mg/kg	-	11,507	
12.	Daun H-12	mg/kg	-	8,148	

Keterangan:

1) TD: tidak terdeteksi karena konsentrasi di bawah limit deteksi alat ($<0,001$ mg/l)

Darussalam, 29 April 2022

Ketua,


Dr. Ir. Ed Munawar, S.T., M.Eng.
NIP. 19691210 199802 1001

Lampiran 4. Hasil Perhitungan BCF dan TF

No	Sampel Kangkung Darat	Waktu	Hasil Analisa	Satuan
1	Akar	Hari ke 3	7,935	mg/kg
		Hari ke 6	10,282	mg/kg
		Hari ke 9	1,096	mg/kg
		Hari ke 12	1,063	mg/kg
2	Batang	Hari ke 3	12,304	mg/kg
		Hari ke 6	13,015	mg/kg
		Hari ke 9	11,628	mg/kg
		Hari ke 12	12,507	mg/kg
3	Daun	Hari ke 3	12,103	mg/kg
		Hari ke 6	13,546	mg/kg
		Hari ke 9	13,127	mg/kg
		Hari ke 12	12,348	mg/kg

A. Perhitungan BCF pada akar kangkung darat berdasarkan lama waktu perlakuan.

$$BCF = \frac{Fe \text{ pada akar, batang atau daun}}{Fe \text{ pada tanah}}$$

Dik Fe pada tanah :1.150,56

1. Perhitungan BCF akar

- BCF hari ke 3 $BCF = \frac{8,935}{1.150,56} = 0,007$
- BCF hari ke 6 $BCF = \frac{10,282}{1.150,56} = 0,008$
- BCF hari ke 9 $BCF = \frac{11,096}{1.150,56} = 0,009$
- BCF hari ke 12 $BCF = \frac{12,063}{1.150,56} = 0,010$

2. Perhitungan BCF batang

- BCF hari ke 3 $BCF = \frac{7,304}{1.150,56} = 0,006$
- BCF hari ke 6 $BCF = \frac{8,015}{1.150,56} = 0,006$

- BCF hari ke 9 $BCF = \frac{8,881}{1.150,56} = 0,007$

- BCF hari ke 12 $BCF = \frac{11,507}{1.150,56} = 0,010$

3. Perhitungan BCF daun

- BCF hari ke 3 $BCF = \frac{4,103}{1.150,56} = 0,003$

- BCF hari ke 6 $BCF = \frac{4,456}{1.150,56} = 0,003$

- BCF hari ke 9 $BCF = \frac{5,127}{1.150,56} = 0,004$

- BCF hari ke 12 $BCF = \frac{8,148}{1.150,56} = 0,007$

4. BCF total

- BCF total hari ke 3 $BCF = \frac{20,141}{1.150,56} = 0,017$

- BCF total hari ke 6 $BCF = \frac{22,753}{1.150,56} = 0,019$

- BCF total hari ke 9 $BCF = \frac{25,104}{1.150,56} = 0,021$

- BCF total hari ke 12 $BCF = \frac{31,718}{1.150,56} = 0,027$

B. Perhitungan Translokasi Faktor (TF) pada kangkung darat berdasarkan lama waktu perlakuan.

$$TF = \frac{\text{logam berat pada daun}}{\text{logam berat pada akar}}$$

1. Perhitungan TF pada batang

- TF hari ke 3 $TF = \frac{7,304}{8,935} = 0,187$

- TF hari ke 6 $TF = \frac{8,015}{10,282} = 0,779$

- TF hari ke 9 $TF = \frac{8,881}{11,096} = 0,800$

- TF hari ke 12 $TF = \frac{11,507}{12,063} = 0,953$

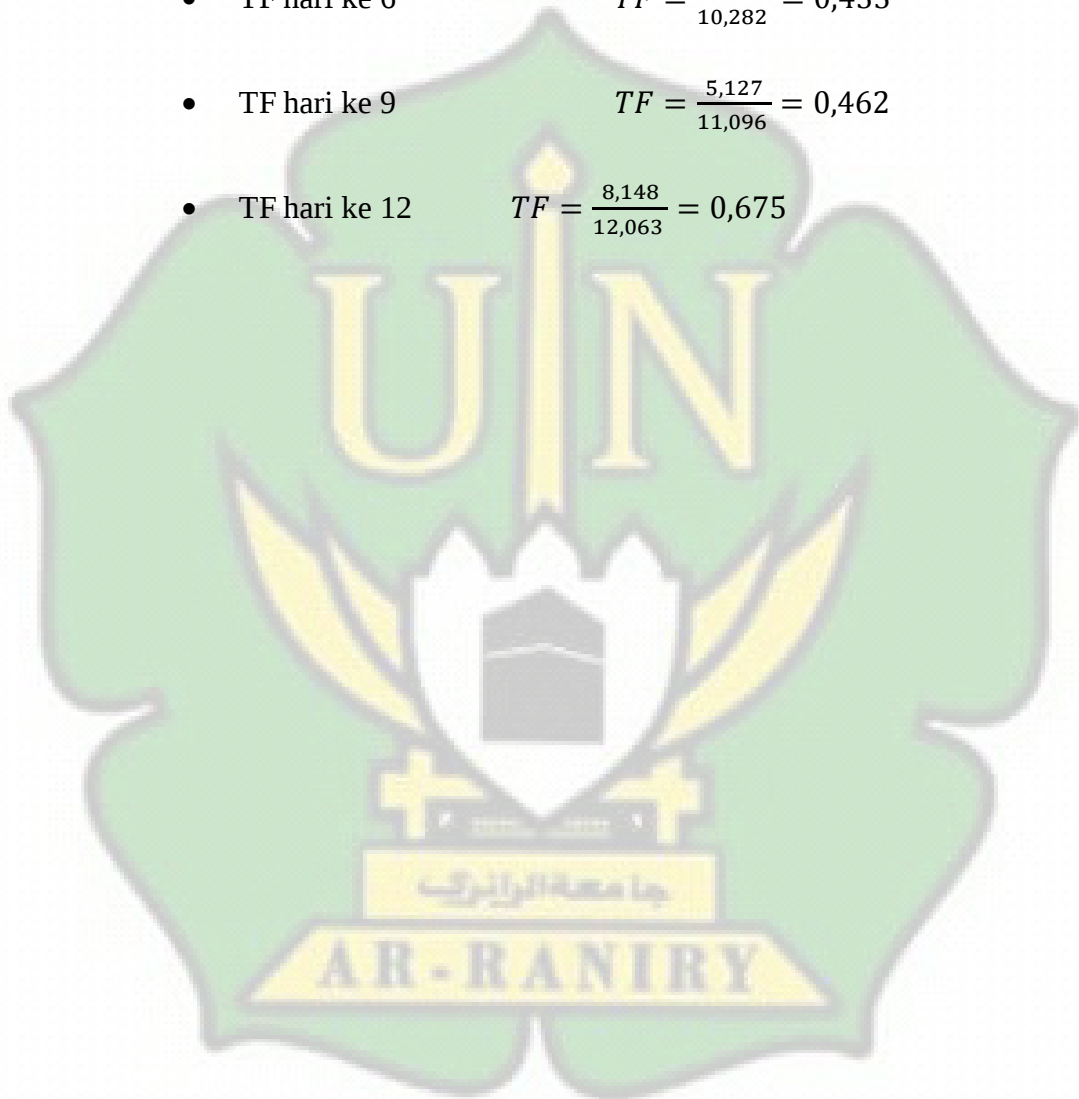
2. Perhitungan Tf Pada daun

- TF hari ke 3 $TF = \frac{4,103}{8,935} = 0,459$

- TF hari ke 6 $TF = \frac{4,456}{10,282} = 0,433$

- TF hari ke 9 $TF = \frac{5,127}{11,096} = 0,462$

- TF hari ke 12 $TF = \frac{8,148}{12,063} = 0,675$



Lampiran 5. Foto Penelitian



(Proses Observasi Awal di TPA Regional Blang Bintang)



(Proses Wawancara dengan Petugas TPA dan Pengambilan Sampel Awal)



(Proses Penanaman Bibit Kangkung Darat di Kp. Rukoh, Kec Syiah Kula, Kota Banda Aceh)



(Proses Penyiapan Tempat Penanaman Kangkung Darat Pada Tanah Tercemar Air Lindi di TPA Regional Blang Bintang)



(Proses Pecabutan Sampel Untuk Uji Laboratorium)

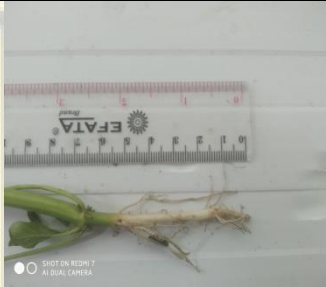


(Analisis Morfologi Tanaman Kangkung Darat)

Lampiran 6. Pengukuran Tinggi Tanaman Kangkung Darat

No	Hari	Tinggi Tanaman Kangkung Darat
1	3	 A photograph of a Kangkung Darat plant at day 3. The plant is small with several green leaves. It is placed next to a ruler for scale. The ruler shows the plant is approximately 10 cm tall.
2	4	 A photograph of a Kangkung Darat plant at day 4. The plant is slightly taller than at day 3, with more developed leaves. It is placed next to a ruler for scale. The ruler shows the plant is approximately 12 cm tall.
3	6	 A photograph of a Kangkung Darat plant at day 6. The plant is taller and has more leaves. It is placed next to a ruler for scale. The ruler shows the plant is approximately 15 cm tall.
4	12	 A photograph of a Kangkung Darat plant at day 12. The plant is the tallest in the series, with many green leaves. It is placed next to a ruler for scale. The ruler shows the plant is approximately 20 cm tall.

Lampiran 7. Pengukuran Panjang Akar Tanaman Kangkung Darat

No	Hari	Panjang Akar Tanaman Kangkung Darat
1	3	
1	6	
3	9	
4	12	