

**EFEKTIVITAS REMEDIASI DALAM PENYISIHAN KADAR  
KADMIUM (Cd) DAN COD DENGAN MENGGUNAKAN  
FITOREMEDIASI RUMPUT BEBEK (*Lemna Minor*) LINDI  
TPA GAMPONG JAWA BANDA ACEH**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Oleh  
NAZRI ADHLANI  
NIM. 180702068  
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
DARUSSALAM – BANDA ACEH  
2022/2023**

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR**

**EFEKTIVITAS REMEDIASI DALAM PENYISIHAN KADAR  
KADMIUM (Cd) DAN COD DENGAN MENGGUNAKAN  
FITOREMEDIASI RUMPUT BEBEK (*Lemna Minor*) LINDI  
TPA GAMPONG JAWA BANDA ACEH**

**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:**

**Nazri Adhlani**

**NIM. 180702068**

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

Disetujui untuk dimunaqasyahkan oleh:

Pembimbing I,

**Dr. Ir. Irhamni, S.T., M.T., IPM.**

**NIDN. 0102107101**

Pembimbing II,

**Juliansyah Harahap, M.Sc**

**NIDN. 2031078204**

Mengetahui,

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

**Husnawati Yahya, M.Sc.**

**NIDN. 2009118301**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS REMEDIASI DALAM PENYISIHAN KADAR  
KADMIUM (Cd) DAN COD DENGAN MENGGUNAKAN  
FITOREMEDIASI RUMPUT BEBEK (*Lemna Minor*) LINDI  
TPA GAMPONG JAWA BANDA ACEH**

**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, 29 Desember 2022  
5 Jumadil Akhir 1444

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua,

Dr. Ir. Irhamni, S.T., M.T., IPM  
NIDN. 0102107101

Sekretaris,

Juliansyah Harahap, M.Sc  
NIDN. 2031078204

Penguji I,

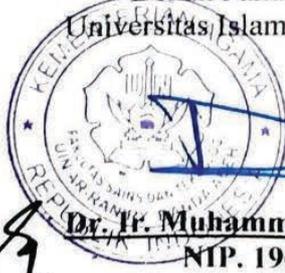
Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.  
NIDN. 2013128901

Penguji II,

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.  
NIDN. 2002028301

Mengetahui,

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



Dr. H. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU  
NIP. 196210021988111001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nazri Adhlani  
NIM : 180702068  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
Judul Skripsi : Efektivitas Remediasi Dalam Penyisihan Kadar Kadmium (Cd) dan COD dengan menggunakan Fitoremediasi Rumput Bebek (*Lemna Minor*) Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data; dan
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

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 telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 29 Desember 2022  
Yang Menyatakan



*Nazri Adhlani*  
Nazri Adhalani

## ABSTRAK

Nama : Nazri Adhlani  
NIM : 180702068  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Efektivitas Remediasi Dalam Penyisihan Kadar Kadmium (Cd) dan COD dengan menggunakan Fitoremediasi Rumput Bebek (*Lemna Minor*) Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh  
Tanggal Sidang : 29 Desember 2022  
Jumlah Halaman : 65  
Pembimbing I : Dr. Ir. Irhamni, S.T.,M.T.,IPM.  
Pembimbing II : Juliansyah Harahap, M.Sc  
Kata Kunci : *Lemna Minor*, Lindi, Fitoremediasi

Tumbuhan *Lemna minor* mampu menurunkan kadar polutan pada lindi. Penggunaan tanaman *L. minor* dalam limbah lindi dianggap efektif dalam mendegradasi nilai logam berat Kadmium (Cd) dan senyawa organik *Chemical Oxygen Demand* (COD). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dan laju penyerapan *L. minor* dalam mendegradasi logam berat Cd dan menurunkan kadar senyawa organik COD pada lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa. Penelitian ini menggunakan metode fitoremediasi di laboratorium, serta pengambilan sampel lindi dilakukan dengan teknik grab sampling. Parameter yang digunakan yaitu logam berat Cd dan senyawa organik COD. Variasi reaktor 1 tanpa aerator dan reaktor 2 dilengkapi dengan aerator. Variasi waktu tinggal yang digunakan adalah hari ketiga, keenam, kesembilan, dan keduabelas. Berat tanaman 35 gram dan 5 liter lindi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *L. minor* dapat menurunkan kadar parameter pada lindi TPA Gampong Jawa dengan persentase optimal yaitu Cd sebesar 15,92%, COD sebesar 94,68%. Perlakuan dengan variasi hari ke-12 serta reaktor yang dilengkapi sistem aerasi paling efektif dalam menurunkan kadar parameter Cd dan COD.

## **ABSTRACT**

*Name* : Nazri Adhlani  
*Nim* : 180702068  
*Study Program* : Environmental Engineering  
*Judul* : Remediation Effectiveness in Eliminating Cadmium (Cd) and COD Levels Using Duck Grass Phytoremediation (Lemna Minor) Leachate of TPA Gampong Jawa Banda Aceh  
*Session Date* : 29 Desember 2022  
*Number of Page* : 65  
*Advisor I* : Dr. Ir. Irhamni, S.T.,M.T.,IPM.  
*Advisor II* : Juliansyah Harahap, M.Sc  
*Keywords* : Lemna Minor, Leachate, phytoremediation

*Lemna minor plants are able to reduce pollutant levels in leachate. The use of the L. minor plant in leachate waste is considered effective in degrading the value of the heavy metal Cadmium (Cd) and Chemical Oxygen Demand (COD) organic compounds. This study aims to determine the effectiveness and absorption rate of L. minor in degrading the heavy metal Cd and reducing the levels of organic compounds COD in the leachate of the Gampong Jawa Final Processing Site (TPA). This study used the phytoremediation method in the laboratory, and leachate sampling was carried out by grab sampling technique. The parameters used were heavy metal Cd and COD organic compounds. Variation of reactor 1 without aerator and reactor 2 equipped with aerator. Variations of residence time used are the third, sixth, ninth, and twelfth days. Plant weight 35 grams and 5 liters of leachate. The results showed that L. minor could reduce parameter levels in Gampong Jawa landfill leachate with the most optimal percentages of Cd at 15.92%, COD at 94.68%. Treatment with the 12th day variation and the reactor equipped with an aeration system was the most effective in reducing the levels of Cd and COD parameters.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah Swt. yang telah menganugerahkan Al-Qur'an sebagai petunjuk bagi semua umat sehingga dengan pertolongan dan hidayah-Nya penulis dapat membuat tugas akhir ini dengan judul **“Efektivitas Remediasi Dalam Penyisihan Kadar Kadmium (Cd) dan COD dengan menggunakan Fitoremediasi Rumpuk Bebek (*Lemna Minor*) Lindi TPA Gampong Jawa Banda Aceh**”. Selawat beriring salam kepada baginda Nabi Besar umat Islam Muhammad saw. keluarga dan sahabat beliau serta orang-orang mukmin yang tetap istiqamah di jalan-Nya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari penyusunan tugas akhir ini dapat selesai karena adanya bantuan dari berbagai pihak baik berupa moral maupun materi yang mendorong semangat penulis sehingga laporan ini terwujud dengan waktu yang tepat. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Ibu Hafsah dan bapak Muhammadan, selaku ibunda dan ayahanda yang telah banyak berkorban demi kesuksesan anaknya.
2. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
4. Bapak Arief Rahman M.T., selaku Dosen Penasehat Akademik
5. Ibu Dr. Ir. Hj. Irhamni, S.T., M.T, IPM., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan memberi arahan dari awal sampai akhir pengerjaan tugas akhir
6. Ibu Firda, S.E. yang membantu proses administrasi
7. Kepala DLHK Kota Banda Aceh, selaku pihak yang telah memberikan izin untuk pengambilan sampel lindi TPA Gampong Jawa.

8. Bapak Junaidi, S.Kom, selaku kepala sekolah SMK-SMTI Banda Aceh, yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dilab OTK SMK-SMTI Banda Aceh
9. Bapak Syarifuddi, S.T.,M.T, selaku Kepala Laboratorium Lingkungan BARISTAND Banda Aceh, selaku pihak penguji sampel.
10. Seluruh teman-teman Teknik Lingkungan khususnya angkatan 2018 yang banyak membantu penulis.
11. Semua pihak yang sudah memberi banyak bantuan dan dukungan penuh baik secara material, moral kritik, saran dan masukan yang sifatnya membangun dalam kelengkapan penyusunan Tugas Akhir ini sampai selesai.

Penulis menyadari tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, baik dari segi penulisan maupun isi laporan. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat di harapkan demi kesempurnaan. Penulis mengharapkan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Banda Aceh, 23 Agustus 2022

Penulis

جامعة الرانيري Nazri Adhlani

A R - R A N I R Y

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>.iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>.iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>.vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>.xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	3
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Lindi.....	5
2.1.1 Komposisi Lindi .....	5
2.1.2 Efek Lindi di Lingkungan .....	6
2.2 Logam Berat Cd (Kadmium) .....	7
2.3 Senyawa Organik COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ).....	8
2.4 Fitoremediasi.....	9
2.5 <i>Lemna Minor</i> .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
3.1 Tahapan Umum .....	13
3.2 Lokasi Pengambilan Lindi .....	17
3.3 Teknik pengambilan sampel.....	18

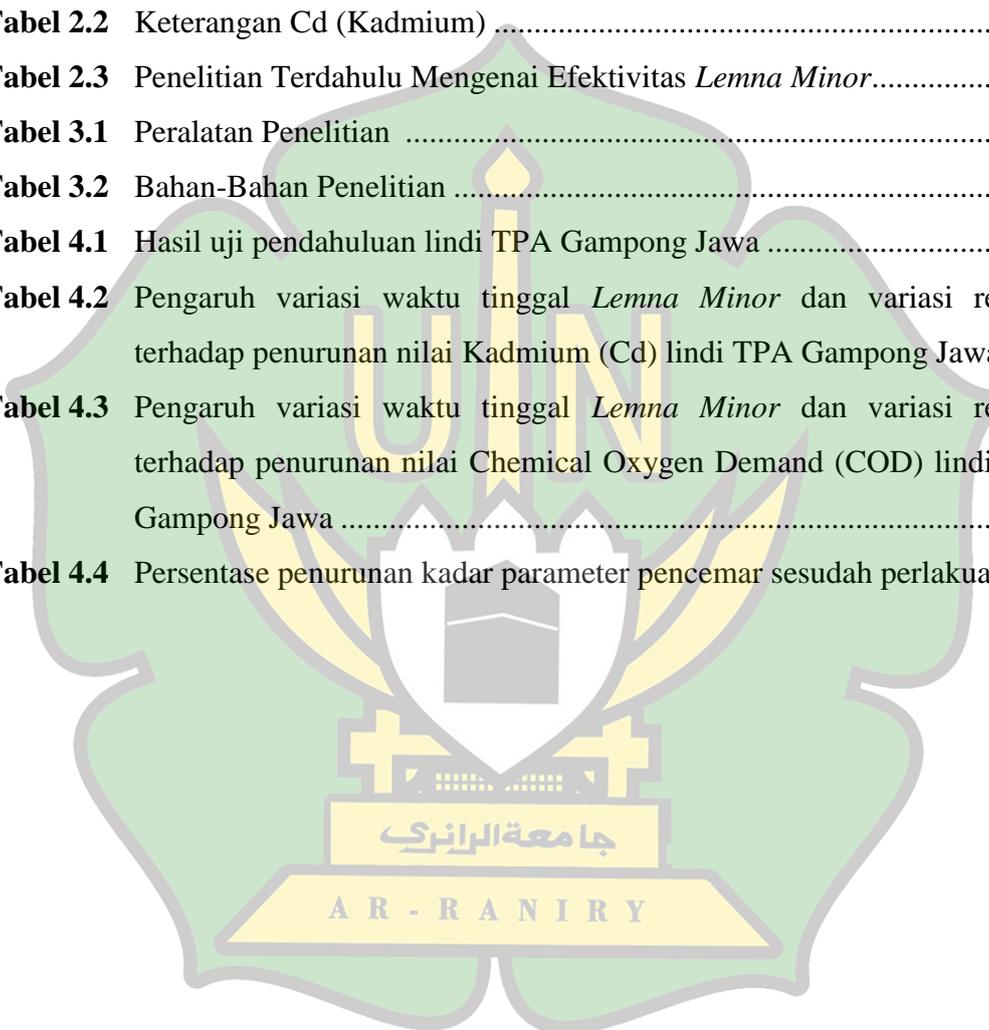
4.4	Persiapan Tanaman <i>Lemna minor</i> .....	18
4.5	Persiapan Reaktor .....	19
4.6	Variabel Penelitian.....	20
4.7	Alat dan Bahan .....	21
4.7.1	Alat yang digunakan .....	21
4.7.2	Bahan yang digunakan .....	21
4.8	Prosedur Eksperimen .....	22
4.9	Analisis Data.....	23
4.9.1	Efektifitas.....	23
4.9.2	Analisis Statistik.....	23
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1	Pengaruh Variasi Waktu Tinggal <i>Lemna Minor</i> dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Kadar Polutan Lindi TPA Gampong Jawa .....	25
4.1.1	Pengaruh Variasi Waktu Tinggal <i>Lemna Minor</i> dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Konsentrasi Kadmium (Cd) Lindi TPA Gampong Jawa.....	25
4.1.2	Pengaruh Variasi Waktu Tinggal <i>Lemna Minor</i> dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Nilai COD ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> ) Lindi TPA Gampong Jawa .....	29
4.2	Tingkat efektivitas <i>Lemna Minor</i> terhadap penurunan kadmium (Cd) dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Lindi TPA Gampong Jawa ...	32
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>34</b>
5.1	Kesimpulan .....	34
5.2	Saran.....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Tumbuhan <i>Lemna minor</i> .....	10
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	14
<b>Gambar 3.2</b> Tahapan Eksperimen .....	15
<b>Gambar 3.3</b> Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	16
<b>Gambar 3.4</b> Pengambilan Sampel Lindi.....	17
<b>Gambar 3.5</b> Pengambilan Sampel Lindi.....	17
<b>Gambar 3.6</b> Pengambilan Tanaman <i>Lemna minor</i> .....	18
<b>Gambar 3.7</b> Desain Reaktor 1 Fitoremediasi Tanpa Aerator Air Pump.....	19
<b>Gambar 3.8</b> Desain Reaktor 2 Fitoremediasi Menggunakan Aerator .....	19
<b>Gambar 5.1</b> Grafik penurunan parameter Cd menggunakan tanaman <i>Lemna Minor</i> .....	26
<b>Gambar 5.2</b> Grafik penurunan parameter COD menggunakan tanaman <i>Lemna Minor</i> .....	28

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b>	Hasil Uji Pendahuluan Lindi TPA Gampong Jawa di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Syah Kuala .....	2
<b>Tabel 2.1</b>	Baku Mutu Lindi Berdasarkan PERMENLH No. 59 Tahun 2016.....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Keterangan Cd (Kadmium) .....	7
<b>Tabel 2.3</b>	Penelitian Terdahulu Mengenai Efektivitas <i>Lemna Minor</i> .....	11
<b>Tabel 3.1</b>	Peralatan Penelitian .....	21
<b>Tabel 3.2</b>	Bahan-Bahan Penelitian .....	21
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil uji pendahuluan lindi TPA Gampong Jawa .....	24
<b>Tabel 4.2</b>	Pengaruh variasi waktu tinggal <i>Lemna Minor</i> dan variasi reaktor terhadap penurunan nilai Kadmium (Cd) lindi TPA Gampong Jawa ..	25
<b>Tabel 4.3</b>	Pengaruh variasi waktu tinggal <i>Lemna Minor</i> dan variasi reaktor terhadap penurunan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) lindi TPA Gampong Jawa .....	27
<b>Tabel 4.4</b>	Persentase penurunan kadar parameter pencemar sesudah perlakuan..	30



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kota Banda Aceh terdiri dari 9 Kecamatan, 17 Mukim, dan 90 Gampong. Jarak antara pusat-pusat kecamatan dengan pusat kabupaten sangat bervariasi. Jumlah penduduk Kota Banda Aceh menurut hasil proyeksi penduduk tahun 2021 adalah 255.029 jiwa (BPS Kota Banda Aceh dalam Angka, 2022). Perubahan jumlah penduduk yang lebih besar dapat menyebabkan jumlah sampah yang dihasilkan menjadi meningkat serta menjadi beban bagi unit pengolahan sampah, sehingga lebih rentan terhadap pengelolaan sampah yang tidak terencana. Pengelolaan sampah yang tidak terencana ini akan menimbulkan masalah lain salah satunya ialah pencemaran lingkungan dari logam berat.

Lindi merupakan cairan yang berasal dari TPA atau tempat pembuangan limbah padat yang dihasilkan dari cairan yang ada di air dan kolam penampung, termasuk air hujan, yang disaring melalui limbah padat. Secara umum, lingkungan dapat tercemar oleh adanya lindi dikarenakan konsistensi lindi tersebut memiliki zat pencemar yang menyebabkan pencemaran air permukaan, dan air tanah serta gangguan perkembangan pada manusia seperti cacat bawaan (Sridhar dkk., 2020).

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang tidak memiliki fungsi fisiologis dan sering dianggap sebagai racun (Genchi dkk., 2020). Dijelaskan sebelumnya oleh Pal (2016) bahwa pada konsentrasi yang tinggi, kadmium merupakan logam berat yang bersifat karsinogen, mutagenik dan teratogenik pada beberapa jenis hewan. Menurut Kumar dan Sharma (2019), paparan kadmium (Cd) tingkat rendah dapat menyebabkan kerusakan pada ginjal, hati, sistem kerangka, dan sistem kardiovaskular, serta penurunan penglihatan dan pendengaran. Seiring dengan efek teratogenik dan mutagenik yang kuat terkait dengan kadmium, dan juga menunjukkan efek samping pada dosis rendah pada reproduksi pria dan wanita.

Parameter senyawa organik yang penting dalam pengukuran parameter kualitas dalam Lindi adalah COD (Chemical Oxygen Demand). Bayu (2020) Menegaskan bahwa COD merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas air limbah dikarenakan COD berperan sebagai penduga pencemaran

bahan organik dan kaitannya dengan penurunan oksigen. Berikut hasil uji pendahuluan nilai Cd dan COD dalam Lindi TPA Gampong Jawa .

**Tabel I.1** Hasil Uji Pendahuluan Lindi TPA Gampong Jawa di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Syah Kuala

No	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa
1	Tembaga (Cu)	mg/L	-	0,0003
2	Kadmium (Cd)	mg/L	0,100	0,147
3	Merkuri (Hg)	mg/L	0,005	Tidak terdeteksi
4	COD	mg/L	300	4984,8
5	TSS	mg/L	70	100

Sumber: Hasil uji pendahuluan, 2022

Dapat dilihat dari tabel I.1 dimana hasil analisa pendahuluan menunjukkan Kadmium (Cd) serta COD, tersebut melebihi ambang baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

Tumbuhan *Lemna minor* adalah salah satu spesies *Duckweed* ( Family *Lemnaceae*) merupakan tanaman kecil yang mengapung bebas dengan penyerapan yang sangat luas di seluruh dunia ( Lasfar dkk.,2017). Tumbuhan dari familia *Lemnaceae* ini dapat bertahan hidup dan tumbuh dengan baik hingga 10 hari dalam air limbah domestik ( Puspitasari dan Irawanto 2016). Tumbuhan ini mampu menurunkan kadar polutan pada lindi. Dari penelitian Nofiyanto dkk. (2019) *L. minor* selama 5 hari mampu tumbuh pada lindi dan dapat mengurangi bahan organik serta warna hingga 52%. Penelitian Irawanto dan Munandar (2017) tanaman *L. minor* mampu menurunkan kandungan logam berat hingga 75,5 %, sedangkan untuk efektivitas penurunan kadar COD menurut penelitian Abadi dkk (2021), efektivitas dari *L. minor* dalam mengurangi kadar COD pada limbah industri periode hari ke 10 sampai 15 sebanyak 76,2%. Oleh karena itu, penggunaan tanaman *L. minor* dalam limbah lindi dianggap efektif dalam mendegradasi nilai Cd dan COD.

Berdasarkan uraian diatas, kadar Cd dan COD yang terkandung dalam lindi melebihi ambang baku mutu serta kelebihan proses remediasi dari tanaman *L. minor*, maka perlu dilakukan uji efektivitas *L. minor* terhadap penurunan kadar Cd dan COD pada lindi TPA Gampong Jawa.

### 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian untuk mengetahui bagaimana proses penyisihan logam berat Cd dan COD pada lindi menggunakan *Lemna minor* yang belum pernah dilakukan pada lindi yang berada di TPA Gampong Jawa. Dengan demikian pertanyaan penelitian yang akan dijawab pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efektivitas penyerapan *L. minor* dalam mendegradasi logam berat Cd dan COD pada lindi TPA Gampong Jawa?
2. Bagaimana laju penyerapan penggunaan *L. minor* dalam mendegradasi nilai Cd dan COD pada lindi TPA Gampong Jawa?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efektivitas penyerapan *Lemna minor* dalam mendegradasi logam berat Cd dan menurunkan nilai COD pada lindi TPA Gampong Jawa.
2. Mengetahui laju penyerapan penggunaan *L. minor* dalam mendegradasi nilai Cd dan COD pada lindi TPA Gampong Jawa.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

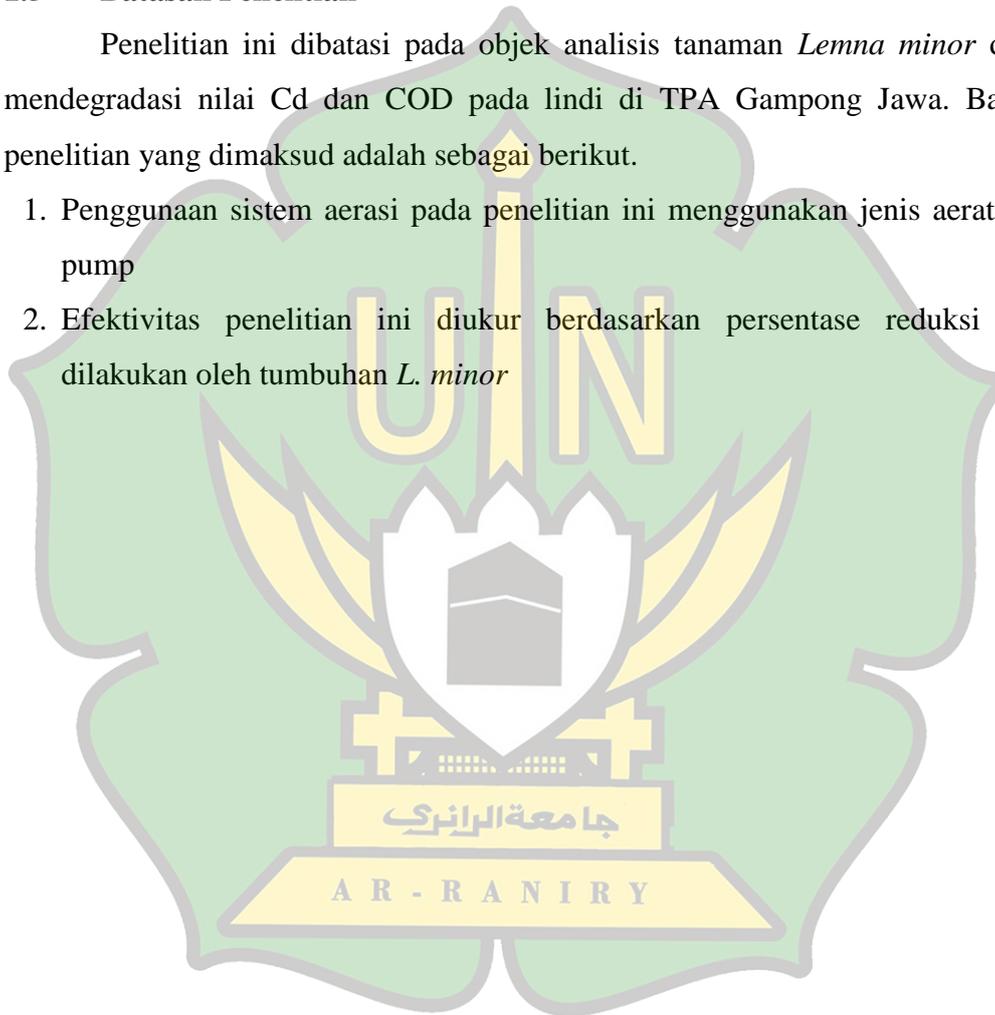
1. Menambah pengetahuan dan juga pengalaman penulis terkait dengan pemanfaatan tumbuhan *Lemna minor* sebagai fitoremediator dan mengembangkan pengetahuan atau wawasan keilmuan di bidang teknik lingkungan terutama terkait dengan fitoremediasi, pencemaran air dan kualitas air.

2. Memberikan informasi tentang keefektifan *L. minor* sebagai fitoremediator dalam upaya penurunan resiko pencemaran air khususnya di TPA Gampong Jawa dan memperkenalkan tanaman *L. minor* sebagai salah satu teknologi lingkungan yang dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan kualitas air.

### 1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada objek analisis tanaman *Lemna minor* dalam mendegradasi nilai Cd dan COD pada lindi di TPA Gampong Jawa. Batasan penelitian yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan sistem aerasi pada penelitian ini menggunakan jenis aerator air pump
2. Efektivitas penelitian ini diukur berdasarkan persentase reduksi yang dilakukan oleh tumbuhan *L. minor*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Lindi**

Lindi adalah cairan yang merembes melalui TPA, atau tempat pembuangan limbah padat yang dihasilkan dari cairan yang ada di air dan kolam luar, termasuk air hujan, yang disaring melalui limbah. Secara global, penyerapan bahan pencemar dari lindi di lingkungan telah mengakibatkan pencemaran lingkungan khususnya pencemaran air permukaan dan air tanah serta gangguan perkembangan pada manusia seperti cacat bawaan (Sridhar dkk., 2020).

Air yang ada pada sampah hasil pembusukan umumnya mengandung bahan kimia, bakteri dan kotoran lainnya yang dapat merembes ke dalam tanah. Jika ada air hujan yang melewati sampah ini maka akan tercemar oleh polutan tersebut, sehingga terjadi pencemaran air tanah yang dapat menghambat kelangsungan hidup penduduk sekitar TPA (Hakim dkk., 2017).

Menurut Fajariyah dan Mangkoedihardjo (2017) Karakteristik lindi dipengaruhi oleh umur landfill, jenis dan komposisi sampah, curah hujan dan tingkat perkolasi air yang masuk ke dalam *landfill*, serta posisi dan waktu pengambilan sampel, adapun tahapan proses degradasi di dalam *landfill* yang terdiri dari fase awal atau fase aerobik-transisi (0-5 tahun), fase pembentukan asam (5-10 tahun), fase fermentasi metan (10-20 tahun), dan fase maturasi akhir (>20 tahun).

Air lindi yang dihasilkan Oleh TPA sulit untuk dikendalikan agar tidak mencemari lingkungan walaupun membuat proteksi kuat pada TPA. Hal Ini menjadi alasan penting untuk membuat permodelan rembesan air lindi disekitarnya. Merembesnya air lindi ketanah dapat mencemari badan air disekitarnya yang kemudian mempengaruhi makhluk hidup yang terpapar. Menemukan tingginya tingkat amoniadan komponen organik dari lindi bersifat toksik terhadap 4 spesies alga yaitu *Chorella pyrenoidosa*, *C Vulgaris*, *Scenedesmus* sp. Dan *Dunaliella tertioleeta*. Salah faktor yang mempengaruhi pergerakan dan komposisi lindi adalah tingkat curah hujan yang memanjaan suatu TPA, adanya unsur penumbuh selama musim hujan pada badan air yang tercemar

lindi yaitu Pb, Zn, Cu dan Cd yang jumlahnya meningkat signifikan ( Mahyudin, R. P. 2017).

### **2.1.1. Komposisi Lindi**

Komposisi dari lindi TPA bervariasi sesuai dengan jenis sampah yang telah dibuang dan terakumulasi, misalnya dalam limbah padat perkotaan atau *municipal solid waste* (MSW), terdiri atas sisa makanan, sampah rumah tangga, plastik, cat, limbah mengandung merkuri, baterai, dan produk lain yang terbuat dari senyawa beracun dan logam berat mungkin ada. Di negara-negara berkembang pemilahan sampah tidak dilakukan, sistem pengelolaan dan pengolahan sampah tidak dibangun dengan baik. Secara umum bahan organik terlarut terdiri dari asam, alkohol, aldehida dan gula, serta komponen anorganik seperti amonium, fosfor, sulfat dan logam berat. Di antara logam berat, yang umum adalah Fe, Pb, Ni, Cd, As, Cr, Cu dan Hg (Salam dan Nilza, 2020).

Vasanthi (2017) Menyatakan bahwa lindi berpengaruh pada sifat-sifat air bawah tanah seperti tingginya konsentrasi total padatan terlarut, konduktivitas elektrik, tingkat kekerasan, klorida, COD, netrat dan sulfat serta mengandung logam berat, dimana kandungannya cenderung menurun setelah musim hujan dan meningkat sebelum musim hujan. Dapat disimpulkan bahwa kandungan unsur penumbuh dan zat pencemar lain pada lindi akan terlarut ke dalam dan merembes semakin jauh dari TPA seiring dengan curah hujan yang tinggi.

### **2.1.2. Efek Lindi di Lingkungan**

Salah satu yang mempengaruhi kualitas lindi adalah usia TPA. TPA baru atau yang berusia kurang dari 5 tahun mempunyai kualitas lindi yang kurang baik. TPA yang berusia di atas 10 tahun akan menghasilkan lindi yang cenderung netral (Chounlamany dkk., 2019). Lindi TPA menyebabkan masalah lingkungan yang serius terutama di negara berkembang karena mencemari air tanah, tanah dan udara. Bahkan di lokasi TPA yang direkayasa dengan pelapis TPA, penghalang cenderung rusak atau memburuk seiring waktu, oleh karena itu, lindi dapat bocor dan melewati tanah. Konsekuensinya adalah efek berbahaya bagi kesehatan

manusia dan juga menyebabkan hambatan pada pengembangan ekonomi. Logam berat seperti Pb, As, Cd, Cr dan Hg terlepas dari lokasi TPA yang tidak terkendali dan menyebabkan ancaman besar bagi kesehatan manusia (Salam dan Nilza, 2020b). Lindi yang tidak diolah dapat meresap ke dalam tanah sehingga menyebabkan pencemaran air tanah dan air permukaan. (Naveen dkk., 2018).

Pengolahan lindi bertujuan agar air hasil olahan berada dalam ambang batas yang dapat ditoleransi atau sesuai baku mutu. Berdasarkan PERMEN LHK No. 59 Tahun 2016 baku mutu untuk Lindi dapat dilihat pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Baku Mutu Lindi berdasarkan PERMEN LH No. 59 Tahun 2016

Parameter	Kadar paling tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N total	65	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber : Lampiran I PERMEN LHK RI Nomor P.59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi

## 2.2 Logam Berat Cd (Kadmium)

Cd (Kadmium) dengan nomor atom 48 dan berat atom 112,41 termasuk dalam golongan XII dari periodik tabel unsur kimia. Logam putih keperakan yang lembut ini secara kimiawi mirip dengan seng dan merkuri dalam sifat fisik dan kimianya. Berbagai bentuk paparan kadmium telah ditunjukkan dengan kadmium hadir di lingkungan sebagai hasil dari aktivitas manusia yang banyak (Rahimzadeh dkk., 2017). Sumber kontaminasi kadmium yang konstan terkait dengan aplikasinya di industri sebagai reagen korosif, serta penggunaannya sebagai penstabil pada produk PVC, pigmen warna, dan baterai Ni-Cd. Kadmium juga hadir sebagai polutan di pabrik peleburan logam *non-ferrous* dan daur ulang limbah elektronik (Genchi dkk., 2020).

**Tabel 2.2** Keterangan Cd (Kadmium)

Nomor atom	48
Berat atom	112,41 u
Radius atom	155 pm
Konfigurasi elektron	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
Titik leleh	321,07 C
Titik didih	767,3 C
Densitas di 20 C	8,65 g/cm <sup>3</sup>

Sumber: (Genchi dkk., 2020).

Logam Berat Esensial adalah logam dengan konsentrasi tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organism, akan tetapi logam tersebut dapat menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang berlebihan. Logam berat tidak esensial, logam yang keberadaannya dalam tubuh masih diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun seperti Hg, Cd, Pb, dan Cr (Irhamni dkk,2017). Keberadaan logam besi, cadmium, dan kromium dalam air lindi TPA sangat berbahaya karena logam ini adalah yang bersifat sangat toksik. Logam besi, cadmium, dan krom yang berda dalam lindi akan merembes ke dalam tanah maka akan mencemari sumu-sumur penduduk. Sejumlah teknik telah dilakukan untuk menurunkan kandungan beberapa logam dalam air lindi TPA. Teknik paling umum yang digunakan untuk pengambilan logam berat dalam larutan yang sedang dikembangkan adalah serapan dengan berbagi penyerap. Upaya menyerap polutan logam berat telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, dengan menggunakan karbon aktif sebagai pengabsorpsi untuk menyerap logam Cd dalam air lindi TPA. Tetapi upaya untuk menyerap logam lain masih jarang dilakukan ( Syawalian dkk, 2019).

### 2.3 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

*Chemical Oxygen Demand* (COD), adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas air dan merupakan parameter kunci yang digunakan dalam pemantauan pencemaran lingkungan. COD didefinisikan sebagai jumlah oksidan tertentu yang bereaksi dengan sampel dalam kondisi terkendali. Jumlah kebutuhan oksigen yang dikonsumsi dinyatakan dalam

ekuivalen oksigennya. Tingkat oksidasi sampel dapat dipengaruhi oleh waktu destruksi, kekuatan reagen, dan konsentrasi COD sampel (Pereira dkk., 2018).

Cairan pekat dari TPA yang berbahaya terhadap lingkungan dikenal istilah *leachate* atau lindi. Cairan ini berasal dari proses perkolasi/percampuran (umumnya dari air hujan yang masuk kedalam tumpukkan sampah). Sehingga bahan-bahan terlarut dari sampah akan terekstraksi atau berbaur. Cairan ini harus diolah dari suatu unit pengolahan aerobik atau anaerobik sebelum dibuang ke lingkungan. Tingginya kadar COD pada lindi (bisa mencapai ribuan mg/L), sehingga pengolahan lindi tidak boleh dilakukan sembarangan (Sarwono dkk, 2017).

Tujuan analisis COD dalam pengolahan limbah yaitu (Santoso, 2018):

- a) COD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara kimia,
- b) untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah,
- c) untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah,
- d) untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah.

#### 2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan bagian dari konsep teknologi alami yang memusatkan peran tumbuhan sebagai solusi penyelesaian permasalahan lingkungan, atau dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Teknik fitoremediasi dipilih sebagai upaya untuk memulihkan kualitas lingkungan yang tercemar dengan teknologi alami yang praktis, ekonomis, dan ramah lingkungan. Fitoremediasi umumnya menggunakan tumbuhan akuatik dalam lahan basah buatan sebagai pengolahan perairan dari pencemaran limbah cair. Tumbuhan akuatik memiliki berbagai macam manfaat di alam, namun kebanyakan orang masih belum menyadari peranannya. Dalam pengolahan limbah/lindi secara alami terjadi proses diantaranya penyerapan kontaminasi oleh tumbuhan ( fitoremedasi). Fitoremediasi merupakan teknologi yang menggunakan tanaman untuk membersihkan daerah

yang terkontaminasi. Penerapan fitoremediasi dapat diklasifikasikan menjadi proses degradasi, ekstraksi, penahanan atau kombinasi ketiganya. (Irawanto dan Munandar, 2017).

Irawanto (2017) menyebutkan bahwa tumbuhan akuatik dapat berperan sebagai penguraian polutan/limbah cair. Lestari (2013), menyatakan bahwa tumbuhan akuatik secara umum memiliki kemampuan menetralsir komponen tertentu sehingga sangat bermanfaat dalam proses pengolahan limbah cair. Salah satu contoh tumbuhan yang digunakan untuk fitoremediasi adalah *Lemna minor*. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan air untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Akhir-akhir ini teknik fitoremediasi mengalami perkembangan pesat karena terbukti lebih murah dibandingkan metode lainnya, misalnya penambahan lapisan permukaan tanah. Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tetapi beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi.

Tahapan fitoremediasi yang dilakukan tumbuhan menurut Dewi dkk, (2012) yaitu:

- a. *Phytoaccumulation* (phytoextraction) adalah proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga terakumulasi di sekitar akar tumbuhan.
- b. *Rhizofiltration* adalah proses pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
- c. *Phytostabilization* adalah perlekatan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap dalam batang tumbuhan.
- d. *Rhizodegradation* yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroorganisme yang berada di sekitar akar tumbuhan
- e. *Phytodegradation* yaitu proses penguraian zat kontaminan yang memiliki rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana dan berguna bagi tumbuhan itu sendiri.
- f. *Phytovolatilization* adalah proses perubahan polutan oleh tanaman menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara.

## 2.5 *Lemna minor*

*Lemna minor* merupakan salah satu tumbuhan air terapung tanaman yang ditemukan di seluruh dunia dalam air dan kaya akan nutrisi. Tanaman ini mampu menyerap nutrisi dan bahan kimia dalam air dan memasukkannya ke dalam struktur asam nukleat, protein, dan klorofilnya. Oleh karena itu, dapat disebut sebagai salah satu tanaman paling menjanjikan di abad ke-21 (Abadi dkk., 2021). Tanaman ini telah terkenal karena kemampuannya yang tinggi untuk mengurangi polutan (Gaur dan Suthar, 2017). *L. minor* secara signifikan dapat mengurangi kebutuhan oksigen biologis (BOD) dan permintaan oksigen kimia (COD) dalam air limbah (Aziz dkk., 2020 dan Amare dkk., 2018).

Potensi yang dimiliki rumput bebek *L. minor* dalam fitoremediasi sangat tinggi, namun dalam beberapa masalah yang terjadi rumput bebek *L. minor* cenderung membentuk lapisan padat yang mengakibatkan kematian pada daun rumput bebek *L. minor*, namun permasalahan ini dapat diatasi dengan pemisahan daun secara berkala guna mencegah pembentukan lapisan pada tumbuhan rumput bebek *L. minor* (Ceschin dkk., 2020).

Penggunaan Rumput bebek *L. minor* dalam penanganan pencemaran logam berat telah dibuktikan efektif dalam mengurangi logam berat dalam jumlah besar ke dalam jaringannya dengan kemampuan *recovery* dari rumput bebek *L. minor* dalam beberapa hari usai terkena paparan tinggi toksisitas dari logam berat termasuk cadmium. Rumput bebek *L. minor* memiliki rasio pertumbuhan yang tinggi pada suhu 21 °C dan pH 6 dalam mengakumulasi logam berat tertentu seperti Cd dan Cu pada perairan. Efektivitas rumput bebek *L. minor* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ketersediaan logam dan durasi penelitian (Ekperusi dkk., 2019). Berikut merupakan klasifikasi dari *L. minor*:

*Kingdom* : *Plantae*  
*Subkingdom* : *Tracheobionta*  
*Superdivision* : *Spermatophytea*  
*Division* : *Magnoliophyta*  
*Class* : *Liliopsida*  
*Subclass* : *Arecidae*

*Order* :Arales  
*Family* :Lemnaceae  
*Genus* :Lemna  
*Species* :Lemna minor



**Gambar 2.1** Tumbuhan *Lemna minor*

**Tabel 2.3** Penelitian terdahulu mengenai efektivitas *Lemna minor*

Referensi	Judul	Hasil	Metode
(Abadi dkk., 2021)	Evaluation of <i>Lemna minor</i> and cyanobacteria effect in aerated and non-aerated conditions on biological oxygen demand (BOD), dissolved chemical oxygen (DCO), total coliform and faecal coliform of municipal and	Efektivitas tanaman <i>L. minor</i> dalam penurunan kadar COD pada limbah industri periode hari ke 10 sampai 15 sebanyak 76,2%	Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengolahan air limbah kota dan industri dalam sistem aerasi dan non-aerasi dengan <i>L. minor</i> dan tahap kedua adalah pengolahan air limbah kota dan industri dalam sistem aerasi dan non-aerasi dengan

	industrial wastewater		<i>cyanobacteria</i> .
(Nofiyanto dkk., 2019)	Fitoremediasi Kualitas Lindi TPA Jatibarang Terhadap Efektifitas <i>Lemna minor</i> dan <i>Ipomoea aquatica</i> . Jurnal Ilmu Lingkungan	Selama 5 hari tanaman <i>L. minor</i> mampu mengurangi bahan organik serta warna hingga 52%	Perlakuan menggunakan desain Rancangan Acak Lengkap terdiri dari 4 percobaan, 3 kali ulangan yaitu <i>L. minor</i> , <i>Ipomoea aquatica</i> , campuran <i>L. minor</i> dan <i>Ipomoea aquatica</i> dan kontrol tanpa tanaman. Pengukuran parameter fisika-kimia dan populasi fitoplankton diukur setiap 5 hari sekali selama 20 hari.
(Verma dan Suthar, 2015)	Lead and cadmium removal from water using duckweed – <i>Lemna gibba</i> L.: Impact of pH and initial metal load	Tanaman <i>Lemna gibba</i> mampu menurunkan kadar Cd 84,8%	Tanaman <i>Lemna gibba</i> dibilas dengan air suling sebelum di eksperimen. Untuk melihat efisiensi penyisihan <i>Lemna gibba</i> hidup ditentukan konsentrasi Pb dan Cd pada medianya, untuk itu <i>Lemna gibba</i> dipanen dari setiap percobaan kemudian diproses uji kandungan logam beratnya.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

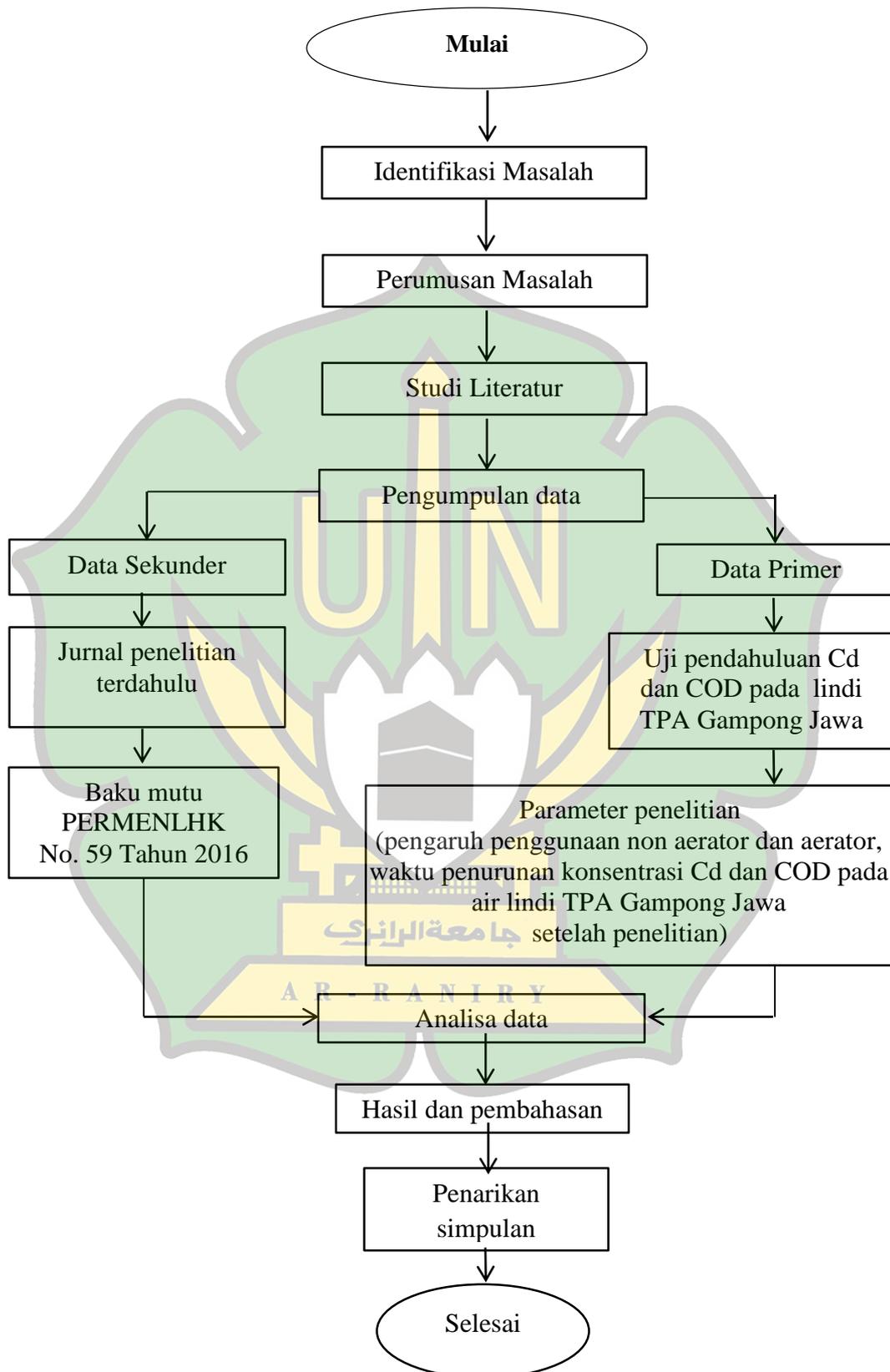
#### 3.1 Tahapan Umum

Penelitian ini menggunakan cara eksperimental sungguhan (*True Eksperimental*) di lapangan dan di laboratorium dengan beberapa tahap kerja. Tahapan kerja yang digunakan pada penelitian ini dimulai dari studi literatur mengidentifikasi dan menganalisis masalah pencemaran dari senyawa organik mulai dari sumber sampai toksisitasnya.

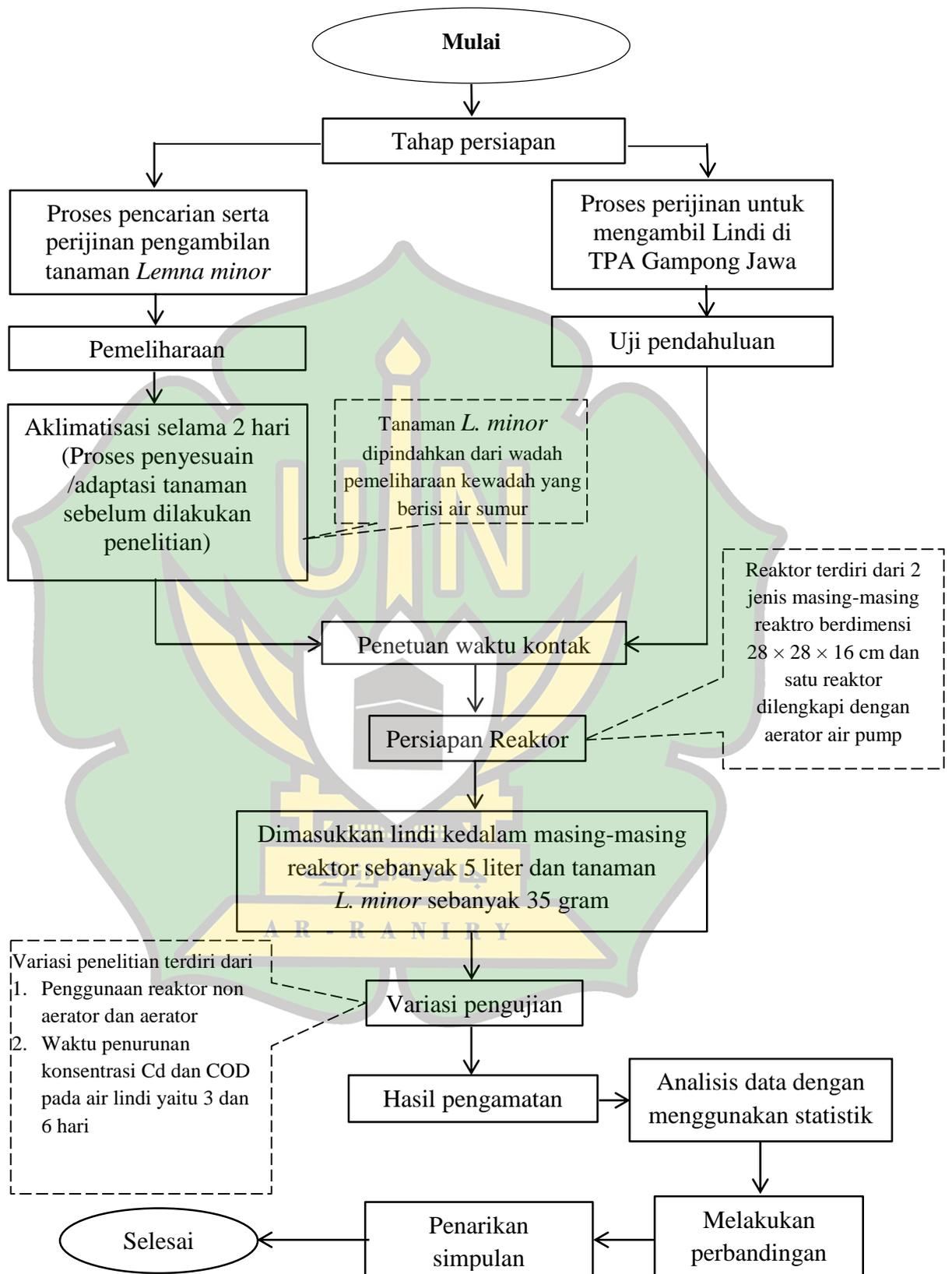
Kemudian dilanjutkan dengan uji pendahuluan yang bertujuan untuk menganalisa kandungan Lindi TPA Gampong Jawa dengan bantuan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang diuji pada lab Teknik Kimia USK, setelah itu dilanjutkan dengan pencarian serta perijinan pengambilan tumbuhan *Lemna minor* sebanyak 2 kg yang berlokasi pada budidaya bebek kodam IM Lhokga Desa Mon Ikeun, kemudian dilanjutkan dengan pemeliharaan *L. minor*.

Pada tahap pemeliharaan, tanaman *L. minor* ditempatkan pada kolam yang berdimensi 1×2 meter serta diberikan nutrisi dan sinar matahari guna untuk keberlangsungan hidup tanaman tersebut, kemudian dilanjutkan dengan proses aklimatisasi yakni dengan memindahkan tanaman *L. minor* dari kolam pemeliharaan ke wadah yang berisi air sumur selama 2 hari. Setelah masa aklimatisasi selesai maka *L. minor* telah siap digunakan dalam penelitian. Lindi yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi yang berasal dari TPA Gampong Jawa dengan kadar Cd sebanyak 0.147 mg/l.

Setelah eksperimen dilakukan maka masuk ke tahap analisis data dengan uji regresi linier terhadap kandungan logam berat Cd dan COD dengan perbedaan perlakuan aerasi dan non-aerasi pada sampel. Pada tahap akhir dilakukan tahap penarikan simpulan. Penelitian dinyatakan selesai. Tahapan kerja dapat dilihat pada Gambar 3.1 diagram alir penelitian sebagai berikut.



**Gambar2.1.** Diagram Alir Penelitian

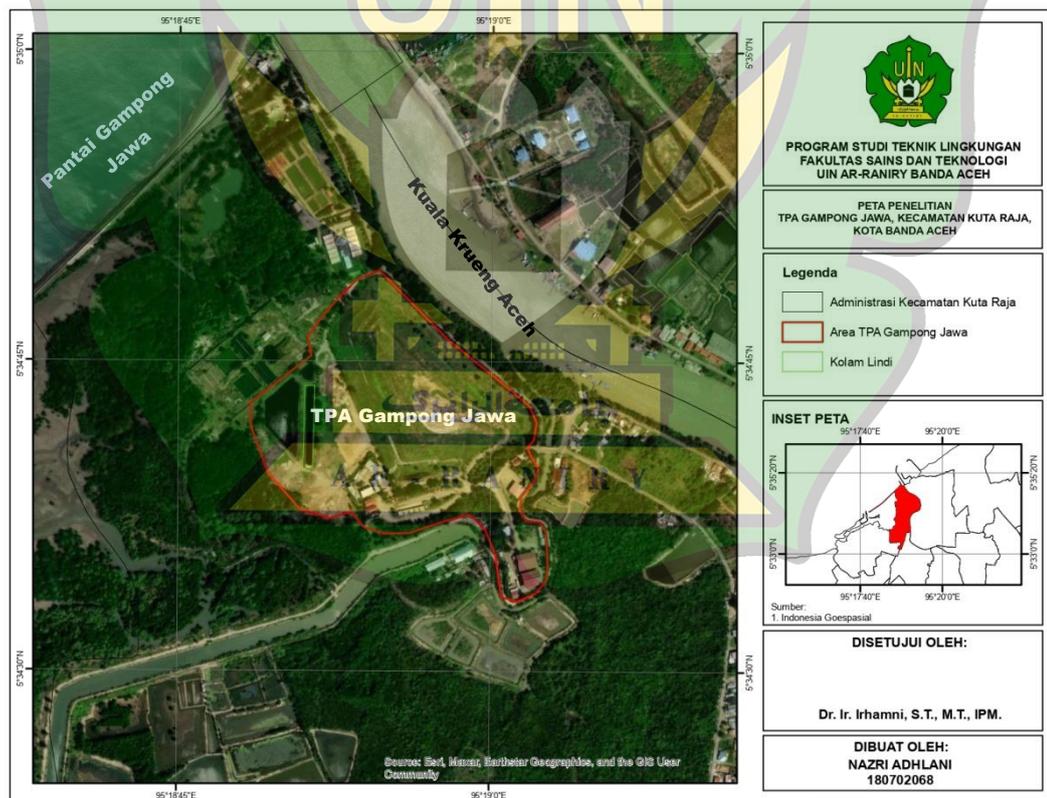


**Gambar 3.2** Tahapan Eksperimen

### 3.2 Lokasi Pengambilan Lindi

Titik lokasi pengambilan Lindi pada penelitian ini terdapat pada titik koordinat 5.578905272879473, 95.31578251825877, di area tempat pembuangan akhir (TPA) Gampong Jawa, Desa Gampong Jawa, Kecamatan Kutaraja Kabupaten Banda Aceh yang terdapat area penampungan pengolahan Lindi.

Lokasi Sampling dilakukan pada penampungan awal (kolam 1) atau bagian awal dari pengolahan Lindi (TPA) Gampong Jawa, kemudian Lindi dialirkan ke kolam 2 lalu kolam 3 kemudian mengalir ke sungai. Pada area pengolahan Lindi terdapat beberapa kolam penampungan yang tidak berfungsi melainkan ditampung dan dialirkan begitu saja, sehingga akan berdampak buruk pada kualitas air sungai yang berada di sekitaran area TPA, sehingga akan menghasilkan dan mengumpulkan senyawa organik maupun senyawa anorganik terhadap ekosistem perairan.



**Gambar 3.3** Peta lokasi pengambilan sampel  
*Sumber: google Earth*



**Gambar 3.4** Pengambilan sampel Lindi



**Gambar 3.5** Pengambilan sampel Lindi

### **3.3 Teknik pengambilan sampel**

Pengambilan sampel Lindi dilakukan dengan teknik grab sampling atau sesaat, Teknik pengambilan Lindi mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel Lindi diambil langsung pada kolam lindi 1 TPA Gampong Jawa, Desa Gampong Jawa, Kecamatan Kutaraja Kabupaten Banda Aceh

2. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 16 November 2022 pukul 10.30 WIB sampai dengan 11.00 WIB. Sampel Lindi diambil sebanyak 12 Liter. Merujuk sesuai (SNI 6989.59:2008) sebagai berikut:
  - a. Tidak terbuat dari bahan yang mempengaruhi sifat.
  - b. Dapat dicuci dari bekas sebelumnya dengan mudah.
  - c. Mudah dan nyaman untuk dibawa.
  - d. Mudah dipisahkan kedalam botol penampung tanpa ada bahan sisa tersuspensi di dalamnya.
  - e. Kapasitas tergantung dari tujuan penelitian.Lindi yang digunakan pada penelitian yaitu sebanyak 10 liter, dimana pada masing-masing reaktor yang digunakan 5 liter.

#### 3.4 Persiapan Tanaman *Lemna minor*

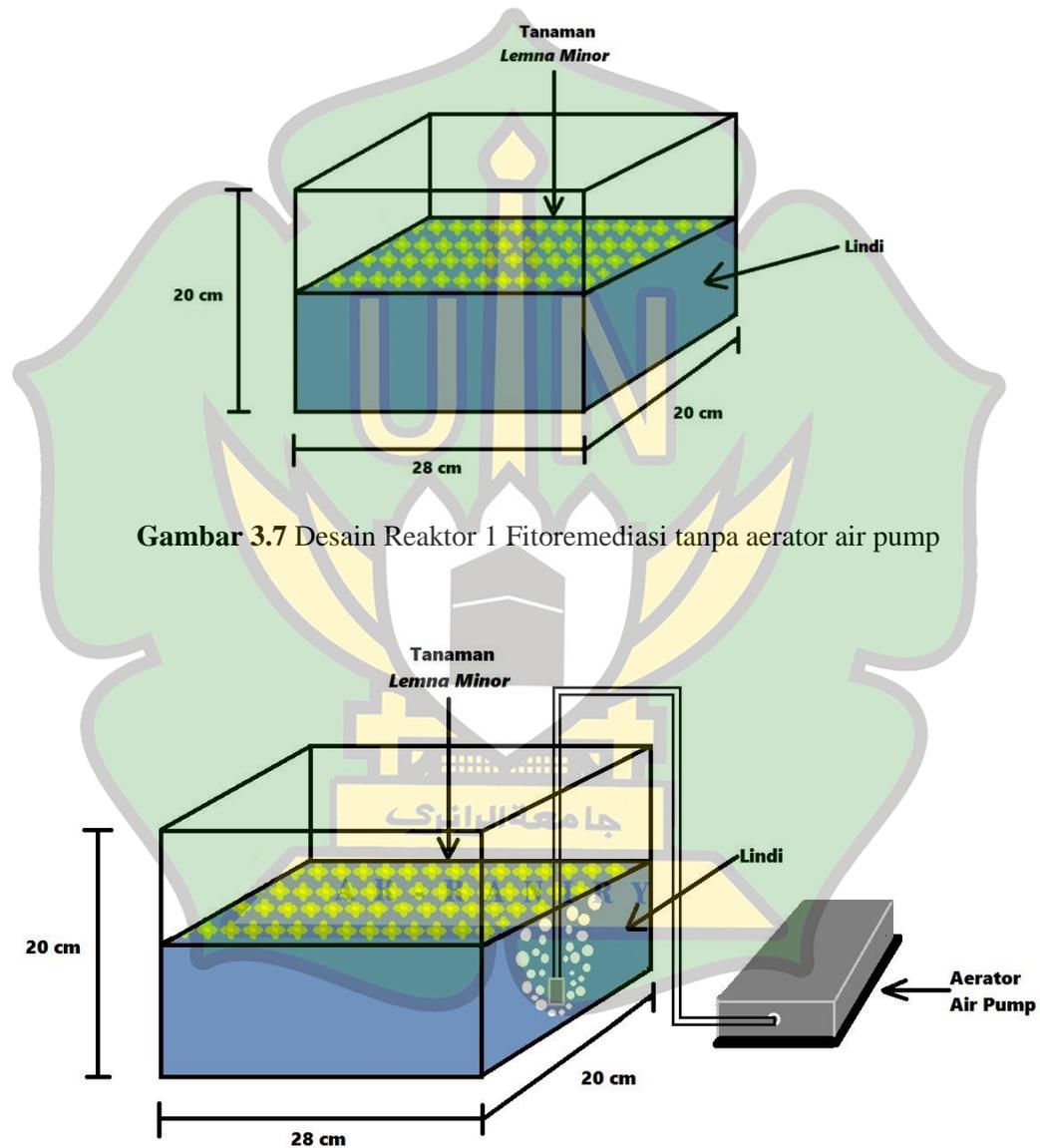
Lokasi pengambilan *Lemna minor* ini dilakukan di area budidaya bebek kodam IM Lhoknga Desa Mon Ikeun, Kec. Lhoknga, Kabupaten Aceh Besar, Aceh Dengan titik koordinat 5.47376001307447, 95.24320034456271.



Gambar 3.6 Pengambilan tanaman *Lemna minor*

### 3.5 Persiapan Reaktor

Pada tahap ini dipersiapkan dua buah reaktor dengan masing-masing berdimensi  $28 \times 20 \times 20$  cm, dan satu reaktor dilengkapi dengan sistem aerator air pump. Adapun rancangan reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 sebagai berikut:



**Gambar 3.7** Desain Reaktor 1 Fitoremediasi tanpa aerator air pump

**Gambar 3.7** Desain Reaktor 2 Fitoremediasi menggunakan aerator air pump

### 3.6 Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan pada studi literatur penelitian terdahulu, penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif untuk mengetahui nilai *Chemical oxygen Demand* (COD) dan logam berat kadmium (*Cd*) yang terdapat dalam lindi sebelum dan sesudah dilakukan proses penelitian terhadap pembiakan tanaman *Lemna Minor* pada lindi tersebut. Adapun variasi pada penelitian ini terbagi 2 yaitu variabel tetap dan variabel bebas

#### a. Variabel tetap

Variabel terikat merupakan beberapa faktor yang diamati serta diukur untuk menentukan pengaruh variabel bebas. Variabel tetap pada penelitian ini terdiri dari :

1. Parameter pengujian : Senyawa organik COD, dan logam berat Cd
2. Ukuran Reaktor : Panjang 28 cm , lebar 20 cm, Tinggi 20 cm
3. Jumlah Reaktor : 2 Reaktor (1 reaktor tanpa aerator, 1 reaktor menggunakan aerator)
4. Jumlah Lindi : 5 Liter/ reaktor
5. Massa *L. minor* : 35 gram (BB)

#### b. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi perubahan untuk menentukan antara fenomena yang diamati. Variabel bebas pada penelitian ini ialah variasi waktu pengujian : 3, 6, 9, dan 12 hari

### 3.7 Alat dan Bahan

#### 3.7.1 Alat yang digunakan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Peralatan Penelitian

Alat	Merek	Jumlah	Keterangan
Timbangan	Ohaus	1	Menimbang tanaman <i>Lemna minor</i>
Reaktor	Shinpo	2	Wadah penampung proses eksperimen
Bak Pemeliharaan	-	1	Wadah pemeliharaan tanaman <i>Lemna minor</i>
Wadah Aklimatisasi	Shinpo	1	Wadah proses aklimatisasi
Aerator Air Pump	Amara Q3	1	Memberikan udara pada reaktor 2
Gelas Ukur	Iwaki	1	Mengukur volume lindi yang digunakan
Pipet Ukur	Iwaki	1	Mengambil sampel lindi yang sudah dilakukan eksperimen
Bulb (Bola Hisap)	Vitlab	1	Alat bantu penghisap dari pipet ukur
Wadah sampel	-	8	Wadah sampel untuk dilakukan pengujian
Gayung	-	1	Mengambil tanaman <i>Lemna minor</i>
Saringan	-	1	Mengambil tanaman <i>Lemna minor</i>
Smartphone	Redmi Note 8	1	Mendokumentasikan penelitian

#### 3.7.2 Bahan yang digunakan

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Bahan-Bahan Penelitian

Bahan	Jumlah	Keterangan
<i>Lemna minor</i>	2 Kg	Fitoremediator
Lindi	12 L	Sampel yang akan diteliti
Air sumur	10 L	Proses aklimatisasi
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	50 mL	Pengujian COD
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50 mL	Pengujian COD

### 3.8 Prosedur Eksperimen

Eksperimen fitoremediasi dengan menggunakan tanaman *Lemna minor* dalam pengolahan air lindi ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Disediakan satu wadah aklimatisasi berukuran  $30 \times 30 \times 50$  yang telah berisikan air sumur sebanyak 10L (Kolam Aklimatisasi)
2. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara, tanaman *Lemna minor* yang telah dilakukan proses pemeliharaan diambil menggunakan saringan dan dipindahkan kedalam kolam aklimatisasi lalu didiamkan selama 2 hari.
3. Kemudian, tanaman tersebut diambil menggunakan saringan dan ditimbang sebanyak 35gram, pekerjaan ini diulangi dua kali.
4. Disediakan dua buah reaktor yang berukuran masing-masing  $28 \times 20 \times 20$  cm dan satu buah reaktor memiliki sistem aerasi dengan menggunakan aerator.
5. Pada masing-masing reaktor diisi lindi sebanyak 5 liter yang sebelumnya pengukuran volume lindi menggunakan gelas ukur.
6. Dimasukkan tanaman *L. minor* yang sudah ditimbang tadi sebanyak 35 gram pada masing-masing reaktor lalu dinyalakan aerator.
7. Setelah semua perlakuan metode fitoremediasi telah dilakukan di laboratorium SMK-SMTI, maka pengambilan sampel lindi dilakukan pada hari ke 3, 6, 9, dan 12. Menggunakan pipet ukur, masing-masing reaktor dan hari sebanyak 100mL.
8. Selanjutnya sampel tersebut dianalisa menggunakan parameter senyawa organik COD di laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry dan logam berat Cd diuji dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) di laboratorium Baristand Industri Banda Aceh.
9. Kemudian dilakukan pengamatan seperti morfologi dari *L. minor*, serta warna dari lindi.

### 3.9 Analisis Data

#### 3.9.1 Efektifitas

Tahap analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui persentase penurunan beban pencemar pada air lindi dari masing-masing parameter yang telah diuji pada saat dan sesudah dilakukannya pengolahan dengan menggunakan metode fitoremediasi.

$$X = L_0 - L_s$$

$$E = (X / L_0) \times 100\%$$

Dengan X adalah Konsentrasi yang diremediasi oleh *Lemna minor*,  $L_0$  adalah konsentrasi sebelum diremediasi,  $L_s$  adalah konsentrasi setelah di remediasi menggunakan metode fitoremediasi dan E adalah efisiensi remediasi kontaminan yang telah dipisahkan.

#### 3.9.2 Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan software untuk melakukan pengolahan data dan menganalisis data yaitu Microsoft Excel. Microsoft Excel (MS-Excel) adalah suatu program aplikasi lembar kerja elektronik yang canggih dan mudah dioperasikan. Microsoft Excel berfungsi membantu dalam hal menghitung dan mempresentasikan data dalam bentuk informasi (Pratiwi, 2012). Analisis yang digunakan adalah analisis data regresi linier dan korelasi. Analisis ini merupakan salah satu teknik analisis dalam statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel yang bersifat kuantitatif.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penurunan kadar senyawa organik COD dan logam berat kadmium (Cd) yang terdapat pada limbah lindi TPA Gampong Jawa yang berlokasi Desa Gampong Jawa, Kecamatan Kutaraja Kabupaten Banda Aceh, dengan menggunakan metode fitoremediasi dari tanaman rumput bebek (*Lemna minor*). Dalam penelitian dilakukan variasi reaktor dan hari pengujian sampel, variasi reaktor terdiri dari dua yaitu reaktor 1 tanpa menggunakan aerator dan reaktor 2 menggunakan aerator (sistem aerasi), sedangkan hari pengujian sampel ialah terdiri pada hari ke-3, 6, 9, dan 12 pada masing-masing reaktor (reaktor 1 dan reaktor 2). Pada penelitian ini jumlah tanaman *L. minor* yang digunakan ialah 35 gram pada masing-masing, dan sampel lindi pada masing-masing reaktor berjumlah 5 liter hal ini mengacu pada penelitian terdahulu ialah karismawati langkap (2019) beliau mengatakan “paling efektif untuk memperbaiki kualitas air pada sampel air Embung Tambak Boyo yaitu *Lemna sp.* dengan kepadatan 35 gram dengan sampel limbah 5 liter”. Sebelum dilakukan proses fitoremediasi dengan tanaman *L. minor* pada lindi TPA Gampong Jawa maka dilakukan uji pendahuluan terlebih dahulu di laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry dan laboratorium BARISTAND Banda Aceh, hasil uji pendahuluan lindi TPA Gampong Jawa sebelum dilakukan proses pengolahan dapat dilihat pada tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil uji pendahuluan lindi TPA Gampong Jawa

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Uji
1	COD	mg/L	300	1984
2	Kadmium (Cd)	mg/L	0,100	0,162

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa limbah lindi TPA Gampong Jawa belum layak untuk dibuang langsung ke perairan karena nilai kadar parameter COD dan Cd melebihi ambang baku mutu limbah lindi atau belum sesuai dengan standar baku mutu lindi yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Baku Mutu Air Lindi No 59 Tahun 2016. Dengan

demikian, limbah air lindi perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan atau badan air.

#### 4.1 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal *Lemna minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Kadar Polutan Lindi TPA Gampong Jawa

##### 4.1.2 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal *Lemna minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Konsentrasi Kadmium (Cd) Lindi TPA Gampong Jawa

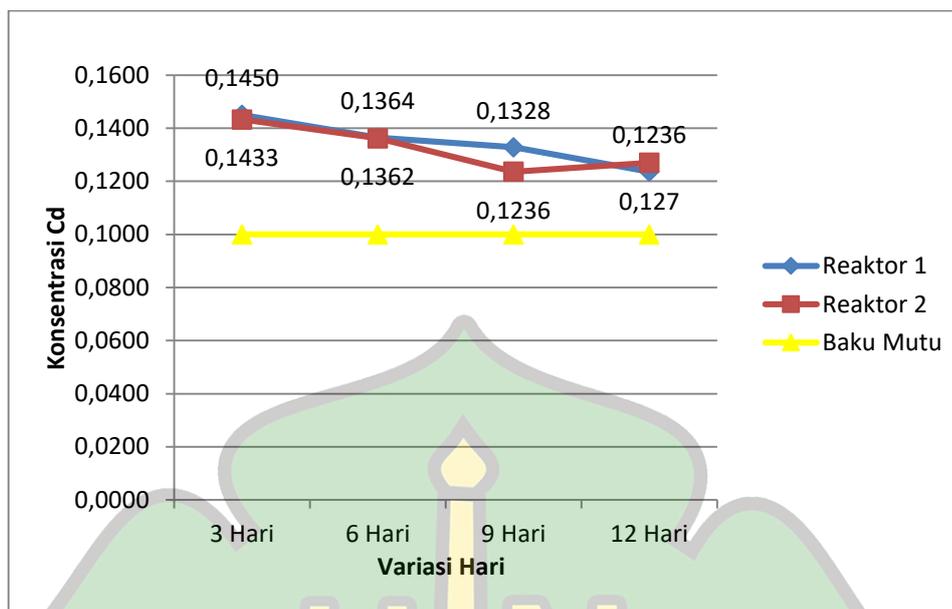
Keberadaan kadmium pada air tanah dapat mengakibatkan gangguan pada kulit, seperti kulit menjadi bersisik, kering, dan gatal. Keracunan kadmium menyebabkan gangguan tubuh yang akut dan kronis seperti kerusakan ginjal, emfisema, hipertensi, atrofi, kerusakan paru-paru dan hati serta bersifat karsinogenik (Fadhila dan Purwati, 2022). Adanya hubungan variasi waktu tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor mampu menurunkan kadar Cd dalam mengurangi kadar polutan pada lindi TPA Gampong Jawa, dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Pengaruh variasi waktu tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor terhadap penurunan nilai Kadmium (Cd) lindi TPA Gampong Jawa

No	Parameter	Variasi Reaktor	Variasi waktu tinggal	Nilai Cd (mg/L)
1	Kadmium (Cd)	Reaktor 1	3	0,1450
2		Reaktor 2		0,1433
3		Reaktor 1	6	0,1364
4		Reaktor 2		0,1362
5		Reaktor 1	9	0,1238
6		Reaktor 2		0,1236
7		Reaktor 1	12	0,1236
8		Reaktor 2		0,1270

Berdasarkan data hasil analisis awal pada Tabel 4.1 menunjukkan tingginya kadar Cd awal sebelum dilakukan pengolahan yaitu sebesar 0,162 mg/L. Nilai awal Cd ini, belum memenuhi standar baku mutu. Adapun sumber umum pencemaran kadmium berasal dari buangan alat elektronik, baterai, korosi pipa-pipa air, dan air limpasan dari tanah pertanian yang terkena dampak pupuk fosfat yang mengandung kadmium (Fadhila dan Purwati, 2022). Adapun dampak pada

manusia dan lingkungan terhadap kadar kadmium berlebih pada air dapat menimbulkan efek yang tidak baik untuk manusia dewasa, diantaranya menaikkan resiko terjadinya kanker payudara, penyakit kardiovaskular atau paru-paru, dan penyakit jantung. Efek lain yang menunjukkan toksisitas kadmium adalah kegagalan fungsi ginjal, encok, pembentukan artritis, juga kerusakan tulang. Logam kadmium (Cd) akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Dalam tubuh biota perairan jumlah logamnya terkumulasi akan terus mengalami peningkatan (biomagnifikasi) dan dalam rantai makanan biota yang tertinggi akan mengalami akumulasi kadmium (Cd) yang lebih banyak. Kadmium dapat terakumulasi dalam di tubuh manusia serta baru dapat keluar dari dalam tubuh, tetapi dengan waktu tunggu berkisar antara 20-30 tahun lamanya. Efek dalam tubuh pun beragam, mulai dari hipertensi sampai kanker. Bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami tiga macam proses akumulasi, yaitu fisik, kimia dan biologis. Buangan limbah industri yang mengandung bahan berbahaya dengan toksisitas yang tinggi dan kemampuan biota laut untuk menimbun logam-logam bahan pencemar langsung terakumulasi secara fisik dan kimia kemudian mengendap di dasar perairan. Metabolisme bahan berbahaya terjadi melalui rantai makanan secara biologis yang disebut bioakumulasi. Akumulasi pada organisme terjadi karena kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme sehingga logam berat terfiksasi dan tidak segera diekskresi oleh organisme yang bersangkutan. (Festri, 2017). Dapat dilihat pada tabel 4.3 setelah dilakukan penambahan tanaman *L. minor* pada reaktor 1 maupun reaktor 2 dari hari ke hari terjadinya penurunan terbaik pada kadar Cd yaitu menjadi 0,1236 mg/L.



**Gambar 4.1** Grafik penurunan parameter Cd menggunakan tanaman *Lemna minor*

Hasil grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tanaman *L. minor* mampu menurunkan konsentrasi Cd dari, konsentrasi Cd pada lindi TPA Gampong Jawa telah mengalami penurunan setelah dilakukannya proses fitoremediasi dengan tanaman *L. minor* dibandingkan pada pengujian awal tanpa dilakukannya proses fitoremediasi akan tetapi konsentrasi pada Cd ini belum memenuhi baku mutu Air Lindi No 59 Tahun 2016. Berdasarkan penelitian terdahulu Verma (2015), tanaman *L. minor* mampu mengurangi konsentrasi Cd sebesar 84,8% pada limbah buatan. Dapat dilihat pada grafik maupun ditabel mulai dari analisa hari ke-3 reaktor 1 menunjukkan konsentrasi Cd ialah 0,1450 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan nilai 0,1433 mg/L, selanjutnya pada hari ke-6 reaktor 1 menunjukkan konsentrasi Cd 0,1364 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan konsentrasi Cd 0,1362 mg/L, kemudian pada hari ke-9 reaktor 1 menunjukkan konsentrasi Cd 0,1238 mg/L sudah dan reaktor 2 menunjukkan konsentrasi Cd 0,1236, selanjutnya pada hari ke-12 reaktor 1 menunjukkan konsentrasi Cd 0,1236 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan nilai COD 0,1270 mg/L.

#### 4.1.2 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal *Lemna minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) Lindi TPA Gampong Jawa

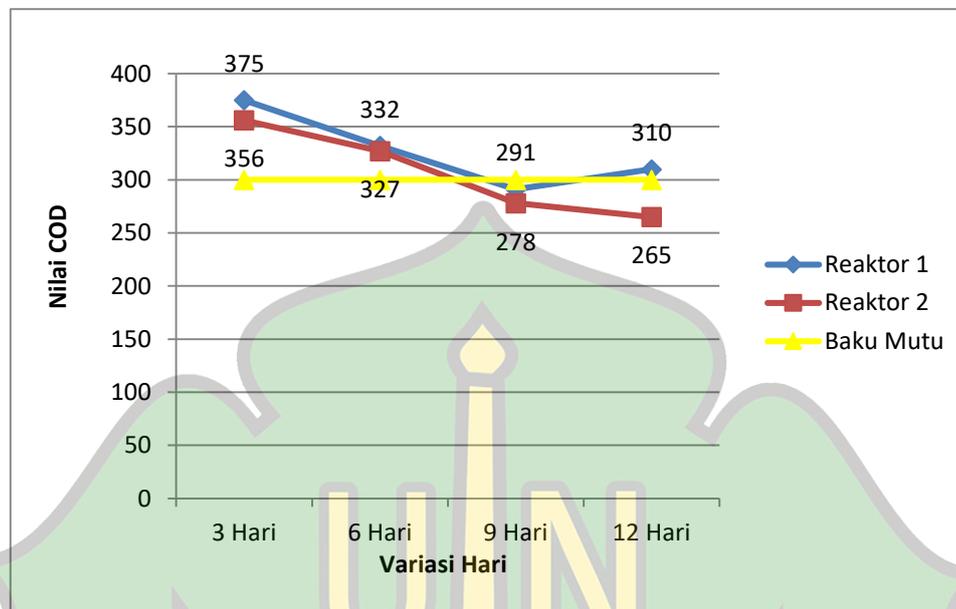
*Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengurai zat-zat organik yang berada di dalam perairan secara kimiawi. (Andre, 2017). *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pengolahan limbah karena semakin tinggi jumlah nilai COD yang terdapat dalam limbah maka semakin besar pula senyawa organik yang berada di dalamnya sehingga menyebabkan semakin tinggi kebutuhan akan oksigen di perairan, apabila suatu perairan kekurangan oksigen dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup perairan. Adanya hubungan variasi waktu tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor mampu menurunkan kadar COD dalam mengurangi kadar polutan pada lindi TPA Gampong Jawa, dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Pengaruh variasi waktu tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor terhadap penurunan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) lindi TPA Gampong Jawa

No	Parameter	Variasi Reaktor	Variasi Waktu Tinggal	Nilai COD (mg/L)
1	COD	Reaktor 1	3	375
2		Reaktor 2		356
3		Reaktor 1	6	332
4		Reaktor 2		327
5		Reaktor 1	9	291
6		Reaktor 2		278
7		Reaktor 1	12	310
8		Reaktor 2		265

Berdasarkan data hasil analisis awal pada Tabel 4.1 menunjukkan tingginya nilai COD awal sebelum dilakukan pengolahan yaitu sebesar 1984 mg/L. Nilai awal COD ini, belum memenuhi standar baku mutu. Tingginya kadar nilai COD pada lindi TPA Gampong Jawa berasal dari aktivitas mikroorganisme yang sangat banyak pada lindi tersebut. Hal ini dapat meningkatkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Sari, 2018). Dapat dilihat pada Tabel 4.3 setelah

dilakukan penambahan tanaman *L. minor* pada reaktor 1 maupun reaktor 2 dari hari ke hari terjadinya penurunan kadar COD yang signifikan menjadi 265mg/L.



**Gambar 4.2** Grafik penurunan parameter COD menggunakan tanaman *Lemma minor*

Hasil Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tanaman *L. minor* mampu menurunkan kadar COD, kadar COD pada lindi TPA Gampong Jawa mengalami penurunan yang signifikan setelah dilakukannya proses fitoremediasi dengan tanaman *L. minor* bahkan telah memenuhi baku mutu Air Lindi No 59 Tahun 2016, Penurunan kadar COD terjadi adanya proses kimia, yang disebabkan oleh adanya interaksi antara tanaman, substrat dan mikroorganismenya. Proses-proses tersebut terjadi karena tanaman berperan penting karena memiliki beberapa fungsi antara lain sebagai media tumbuh mikroorganismenya dan juga menyediakan kebutuhan oksigen bagi akar dan daerah perakaran dengan proses fotosintesis, yang digunakan untuk pertanaman biologis bagi mikroorganismenya yang berada di zona akar, dalam hal ini tanaman memiliki kemampuan memompa udara melalui sistem akar. Selain itu tanaman juga menjadi komponen penting dalam proses transformasi nutrisi yang berlangsung secara fisik dan kimia mendukung proses pengendapan terhadap partikel tersuspensi (Erwin dkk., 2017). Dapat dilihat pada grafik maupun ditabel mulai dari analisa hari ke-3 reaktor 1 menunjukkan nilai COD ialah 375 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan nilai 356 mg/L, selanjutnya pada

hari ke-6 reaktor 1 menunjukkan nilai COD 332 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan nilai COD 327 mg/L, kemudian pada hari ke-9 reaktor 1 menunjukkan nilai COD 291 mg/L sudah dan reaktor 2 menunjukkan nilai COD 278. Pada waktu tinggal 3 hari dan 9 hari terjadi penurunan kadar COD pada limbah, hal ini dikarenakan semakin lama waktu tinggal pengolahan limbah maka akan terjadi peningkatan suplai oksigen ke dalam air limbah dan juga mikroba lebih sering kontak dengan udara. Karena jumlah oksigen yang tersedia pada limbah meningkat maka jumlah mikroba pada media cakram semakin berkembang sehingga lapisan biofilm menjadi lebih banyak dan kadar toxic pada limbah akan mengalami penurunan (Susilo dkk ,2016). Selanjutnya pada hari ke-12 reaktor 1 menunjukkan nilai COD 310 mg/L dan reaktor 2 menunjukkan nilai COD 265 mg/L, pada hari ke-12 reaktor 1 mulai menunjukkan bahwa tanaman *L. minor* menunjukkan kejenuhannya dalam meremediasi lindi, peningkatan parameter COD hal ini disebabkan karena kandungan bahan organik yang tinggi hal ini menyebabkan mikroorganisme mengalami kejenuhan dan kematian sehingga materi organik tidak terurai yang ditunjukkan dengan meningkatkan nilai COD. Kemungkinan yang dapat meningkatkan nilai COD adalah waktu tinggal. Waktu tinggal merupakan lamanya waktu kontak antara tanaman dengan limbah cair domestik pada rangkaian hidroponik, karena semakin panjang waktu tinggal maka akan semakin besar penyisihan COD dan sebaliknya jika waktu tinggal pendek maka penyisihan tidak optimal (Indrayati, 2016). Selanjutnya Iqbal (2018) menegaskan bahwa waktu detensi juga salah satu faktor yang menyebabkan penurunan kadar BOD dan COD, dikarenakan semakin lama waktu tinggal limbah, maka semakin besar pula penurunan pada kadar polutan limbah tersebut dan juga pada reaktor 1 hanya mengandalkan tanaman *L. minor* sendiri dalam meremediasi polutan tanpa adanya bantuan dari lain, dapat dibandingkan dari hari ke hari antara reaktor 1 dan reaktor 2 penurunan paling baik terjadi pada reaktor 2 dan hari ke-12, hal ini dikarenakan pada reaktor 2 dilengkapi dengan aerator (sistem aerasi) yang berfungsi sebagai penyuplai udara dari luar masuk ke dalam lindi.

#### 4.2 Tingkat efektivitas *Lemna minor* terhadap penurunan kadmium (Cd) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Lindi TPA Gampong Jawa

Setelah dilakukan proses fitoremediasi menggunakan tanaman *Lemna minor* sebanyak 35 gram pada masing-masing reaktor yaitu reaktor 1 berisikan 5 liter lindi dan juga reaktor 2 berisikan 5 liter lindi serta dilengkapi aerasi, dengan variasi waktu tinggal tanaman *L. minor* yaitu 3, 6, 9, dan 12 hari.

Dari penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh nilai efektivitas dari masing-masing parameter yaitu kadmium (Cd) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hasil persentase penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4

**Tabel 4.4** Persentase penurunan kadar parameter pencemar sesudah perlakuan

Varias Hari	Variasi Reaktor	Efektivitas (%) Penurunan Kadar Cd	Efektivitas (%) Penurunan Kadar COD
Hari ke-3	Reaktor 1	10,49%	81,10%
	Reaktor 2	11,54%	82,06%
Hari ke-6	Reaktor 1	15,80%	83,27%
	Reaktor 2	15,93%	83,52%
Hari ke-9	Reaktor 1	23,58%	85,33%
	Reaktor 2	23,70%	85,99%
Hari ke-12	Reaktor 1	23,70%	84,38%
	Reaktor 2	21,60%	86,64%

Berdasarkan tabel persentase diatas dapat dilihat penurunan terbaik dalam fitoremediasi lindi menggunakan tanaman *L. minor* ialah penurunan nilai parameter Cd dan COD paling optimal terjadi di hari kesembilan. Tanaman *L. minor* telah mampu menurunkan parameter dengan baik, hal ini menunjukkan bahwa tanaman dapat menurunkan parameter dari hari ketiga hingga hari ke 12. Untuk kondisi fisik pada tanaman *L. minor*, pada saat perlakuan terutama mulai hari kelima, setelah melakukan pengamatan terhadap masing-masing reaktor tersebut memperlihatkan tanaman kayu apu mengalami perubahan pada fisik tanaman, dari warna daun yang mulai memucat dan layu. Pada hari kesepuluh tanaman *L. minor* mulai menurun intensitasnya yaitu karena banyak tanaman yang telah tenggelam. Hal ini kemungkinan terjadi karena kerusakan pada pigmen tanaman *L. minor*. Menurut Santriyana (2013), biasanya gejala toksisitas

diperlihatkan oleh ukuran daun yang menjadi lebih kecil dan warna daun menjadi kuning, hal ini menunjukkan adanya penghambatan terhadap pembentukan klorofil. Kehadiran konsentrasi pencemar yang tinggi mengambil bagian terhadap terganggunya proses fotosintesis karena terganggunya enzim yang berperan terhadap biosintesis klorofil hingga menyebabkan tanaman *L. minor* menjadi mati.

Berdasarkan hasil uji regresi linier yang mengkaji bagaimana pengaruh antara variasi reaktor yaitu reaktor 1 dan reaktor 2 yang menggunakan aerasi dan variasi waktu tinggal tanaman *L. minor* dalam menurunkan kadar parameter COD dan Cd pada air lindi TPA Gampong Jawa dengan metode fitoremediasi Hasil uji menunjukkan bahwa terdapat pengaruh antara variasi reaktor yaitu reaktor 1 dan reaktor 2 yang menggunakan aerasi dan variasi waktu tinggal tanaman *L. minor* dalam menurunkan kadar parameter COD dan Cd pada air lindi TPA Gampong Jawa. dimana dengan variasi waktu tinggal hari ke-12 paling efektif dalam menurunkan parameter Cd dan COD. Adapun mekanisme penurunan logam Cd dengan menggunakan media tanaman ketika air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut dengan memasukkan objek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur-unsur bermuatan positif.

Hasil yang didapatkan berbanding terbalik dari hasil penelitian sebelumnya, yang diteliti oleh Oktavia (2016) Menyatakan kemampuan tanaman pada awal percobaan dapat menyerap logam berat masih tinggi. Sedangkan hari berikutnya mengalami penurunan, semakin banyak logam yang terserap maka semakin banyak logam yang terakumulasi dalam jaringan tanaman dan menyebabkan kejenuhan sehingga penyerapan yang terjadi menjadi terhambat.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan rumusan masalah dan pembahasan diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanaman *Lemna minor* dapat menurunkan kadar parameter pada lindi TPA Gampong Jawa dengan persentase paling optimal yaitu Cd sebesar 23,70%, COD sebesar 86,64%.
2. Perlakuan dengan variasi hari ke-12 serta reaktor yang dilengkapi sistem aerasi paling efektif dalam menurunkan kadar parameter Cd dan COD

#### **5.2 Saran dan Rekomendasi**

Adapun saran dalam penelitian ini diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan parameter lain pada air lindi seperti pH, BOD, TSS, N total, dan Merkuri (Hg). Rekomendasi penulis kepada TPA Gampong Jawa yaitu dengan menambahkan suatu kolam yang berisikan air hujan/air tanah yang jauh dari kolam lindi, agar terjadi proses pengenceran konsentrasi pada lindi yang membuat tanaman *Lemna minor* dapat hidup lebih lama sehingga efektivitasnya meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. (2021). *Evaluation of Lemna minor and cyanobacteria effect in aerated and non-aerated conditions on biological oxygen demand (BOD), dissolved chemical oxygen (COD), total coliform and faecal coliform of municipal and industrial wastewater. International Journal of Environmental Analytical Chemistry.* <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1933463>
- Abbasi Hassan Abadi, S., Najafi, P., Baharlouei, J., dan Mohammadi Ghahsareh,
- Abdi G, I., Kriswandana, F., & Darjati, D. (2018). Pemanfaatan Tanaman Air Untuk Menurunkan Kadar Bod Dan Cod Dalam Limbah Cair Rumah Potong Hewan. *Gema Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 282-291.
- Amare, E., Kebede, F., dan Mulat, W. (2018). Wastewater treatment by Lemna minor and Azolla filiculoides in tropical semi-arid regions of Ethiopia. *Ecological Engineering*, 120 (May), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.005>
- Andre. (2017). Penggunaan Tepung Biji Asam Jawa (Tamarindus Indica) Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar Fosfat Dan COD Pada Air Limbah Usaha Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 4 No 4
- Aziz, N. I. H. A., Hanafiah, M. M., Halim, N. H., dan Fidri, P. A. S. (2020). Phytoremediation of TSS, NH<sub>3</sub>-N and COD from sewage wastewater by Lemna minor L., Salvinia minima, Ipomea aquatica and Centella asiatica. *Applied Sciences* (Switzerland), 10(16). <https://doi.org/10.3390/APP10165397>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kota Banda Aceh Dalam Angka 2022. BPS Kota Banda Aceh BPS-Statistics of Banda Aceh Municipality
- Ceschin, S., Crescenzi, M., dan Iannelli, M. A. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds Lemna minuta and Lemna minor to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 15806–15814. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08045-3>
- Chounlamany, V., Tanchuling, M. A., dan Inoue, T. (2019). Water quality and pollution loading of a river segment affected by landfill leachate and domestic waste. *International Journal of Environmental Studies*, 76(3), 379– 395. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1507874>

- Ekperusi, A. O., Sikoki, F. D., dan Nwachukwu, E. O. (2019). Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, 223, 285–309. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.025>
- Erwin, E., Joko, T., dan D, H. L. (2017). Efektifitas Constructed Wetlands Tipe Subsurface Flow System Dengan Menggunakan Tanaman *Cyperus Rotundus* Untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan COD Pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 5(1), 444–449.
- Fadhila, D., & Purwanti, I. F. (2022). Kajian Fikoremediasi pada Air Tanah Tercemar Timbal dan Kadmium di Sekitar TPA Wukirsari, Gunungkidul. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), D34-D40.
- Susilo, F. A. P., Suharto, B., & Susanawati, L. D. (2016). Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap kadar BOD dan COD limbah tapioka dengan metode rotating biological contactor. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2(1), 21-26.
- Fajariyah, C., dan Mangkoedihardjo, S. (2017). Kajian Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan Teknik Lahan Basah menggunakan Tumbuhan Air. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), D190-D195.
- Gaur, R. Z., dan Suthar, S. (2017). Nutrient scaling of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) biomass in urban wastewater and its utility in anaerobic co-digestion. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.005>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., dan Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., dan Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Hakim, A. R., Hairunisa, H., dan Nurjumiyati, N. (2017). Studi akumulasi rembesan air lindi dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi wenner mapping. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 3(2), 239-248.

- Irawanto, R., dan Munandar, A. A. (2017). Kemampuan tumbuhan akuatik Lemna minor dan Ceratophyllum demersum sebagai fitoremediator logam berat timbal (Pb). Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia, 3(3), 446–452. <https://smujo.id/psnmbi/issue/view/194/36>
- Kumar, S., dan Sharma, A. (2019). Cadmium toxicity: Effects on human reproduction and fertility. Reviews on Environmental Health. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016>
- Langkap, Karismawati. (2019). Pengaruh Kepadatan Lemna Sp. Sebagai Agen Fitoremediasi Dalam Meningkatkan Kualitas Air (DO, TDS, pH dan Kekeruhan). Universitas Sanata Dharma <http://repository.usd.ac.id/id/eprint/33812>
- Lumaela, A. K., Otok, B. W., dan Sutikno. (2013). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. Jurnal Sains Dan Seni Pomits, 2(1), 100–105.
- Mahyudin, R. P. (2017). Kajian permasalahan pengelolaan sampah dan dampak lingkungan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan), 3(1).
- Naveen, B. P., Sumalatha, J., dan Malik, R. K. (2018). A study on contamination of ground and surface water bodies by leachate leakage from a landfill in Bangalore, India. International Journal of Geo-Engineering, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0095-x>
- Nofiyanto, E., Soeprbowati, T. R., dan Izzati, M. (2019). Fikoremediasi Kualitas Lindi TPA Jatibarang Terhadap Efektifitas Lemna minor L dan Ipomoea aquatica Forkks. Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(1), 107. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.107-112>
- Oktavia, Z., Budiyono, B., & Dewanti, N. A. Y. (2016). Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta) Terhadap Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Home Industry Batik “X” Magelang. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 4(5), 238-245.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016. tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah., Jakarta; Departemen Lingkungan Hidup dan Kehutanan

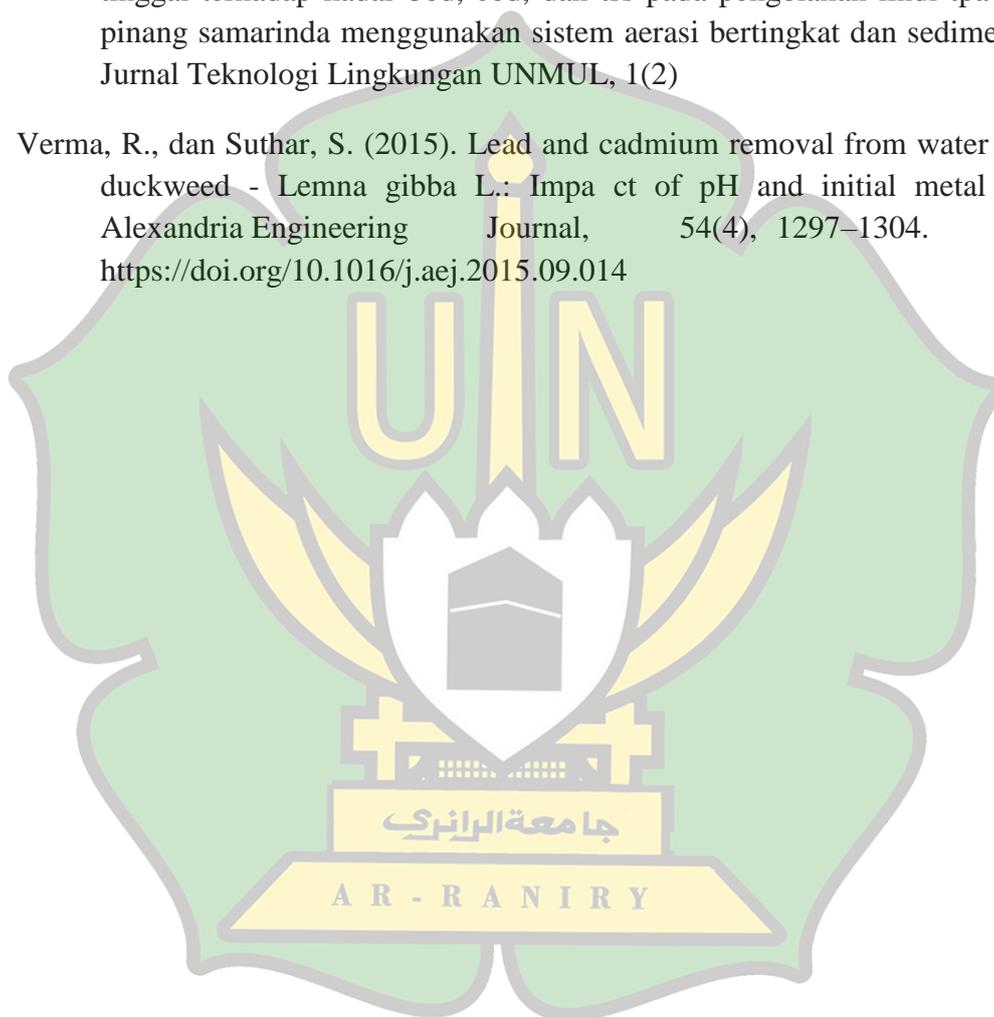
- Pereira, S. A. P., Costa, S. P. F., Cunha, E., Passos, M. L. C., Araújo, A. R. S. T., dan Saraiva, M. L. M. F. S. (2018). Manual or automated measuring of antipsychotics' chemical oxygen demand. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 152(January), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.023>
- Pal, M., Horvarth, E., Janda, T., Paldi, E., and Szalai, G. 2016. Physiological Changes and Defense Mechanism Induced by Cadmium Stress in Maize. Review article. *J. Plant. Nutr. Soil Sci*, Vol 159, 230-246, 2016.
- Rahimzadeh, M. R., Rahimzadeh, M. R., Kazemi, S., dan Moghadamnia, A. A. (2017). Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian Journal of Internal Medicine*, 8(3), 135–145. <https://doi.org/10.22088/cjim.8.3.135>
- Salam, M., dan Nilza, N. (2020a). Hazardous Components of Landfill Leachates and Its Bioremediation. In N. N. E.-M. L. L. E.-S. Soloneski (Ed.), *Soil Contamination - Threats and Sustainable Solutions* (In M. L. L, p. 2). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94890>
- Salam, M., dan Nilza, N. (2020b). Hazardous Components of Landfill Leachates and Its Bioremediation. In *Intech* (Vol. 11, Issue tourism, p. 13). <https://doi.org/10.5772/intechopen.94890>
- Santoso, A. D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2511>
- Santriyana, D. D. (2013). *Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak* (Doctoral dissertation, Tanjungpura University).
- Sari, E. A. (2018). *Kandungan Limbah Cair Berdasarkan Parameter Kimia Di Inlet Dan Outlet Rumah Potong Hewan (Studi Di Rumah Pemotongan Hewan Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember)*. Skripsi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jember
- SNI 6989.59:2008. (2008). *Air Dan Air Limbah-Bagian 59: Metode Pengambilan Contoh Air Limbah*. Badan Standardisasi Nasional
- Sridhar, M. K. C., Coker, A. O., Shittu, O. I., Laniyan, T. A., dan Achi, C. G. (2020). Chapter 9 - Phytotechnologies in wastewater treatment: A low-cost option for developing countries (S. B. T.-S. W. E. Charlesworth (ed.); pp. 137–164). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

816120-3.00005-1

Syawalian, M. A. R., Yohana, Y., & Kahar, A. (2019). Pengaruh kuat arus dan tegangan terhadap perubahan kandungan logam pada lindi TPA sampah dengan metode elektrolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(1), 6-10.

Sarwono, E., Azis, W. A., & Widarti, B. N. (2017). Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap kadar bod, cod, dan tss pada pengolahan lindi tpa bukit pinang samarinda menggunakan sistem aerasi bertingkat dan sedimentasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 1(2)

Verma, R., dan Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impa ct of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297–1304.  
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Surat Permohonan Penelitian



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH  
PRODI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI**

Jl. Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh  
Telepon : 0651-7552921 – 7551857 Fax. 0651-7552922  
E-mail: [tekniklingkungan.fst@ar-raniry.ac.id](mailto:tekniklingkungan.fst@ar-raniry.ac.id) | Web : [www.fst.ar-raniry.ac.id](http://www.fst.ar-raniry.ac.id)

Nomor : B-249/Un.08/TL/PP.00.9/05/2022  
Sifat : Biasa  
Hal : Permohonan Penelitian

Banda Aceh, 18 Mei 2022

Yth.  
Kepala TPA Gampong Jawa  
di-

Tempat

Assalamualaikum Wr. Wb.

Sehubungan akan dilakukannya Penelitian sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, maka dengan ini kami memohon izin agar Mahasiswa kami dapat melakukan pengujian sampel untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Pengujian sampel akan dilakukan mulai tanggal 19 Mei s/d 19 Juni 2022. Adapun Mahasiswa yang akan melakukan penelitian:

Nama Mahasiswa : Nazri Adhlani  
NIM : 180702078  
Judul Tugas Akhir : Uji Tingkat Biomediasi dengan Isolat Cyanobacteria terhadap Kandungan Logam Hg (merkuri) pada Air Lindi TPA Gampong Jawa

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalam,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan,



Nur Aida

## Lampiran 2. Surat Rekomendasi Penelitian



### PEMERINTAH KOTA BANDA ACEH BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK KOTA BANDA ACEH

Jln. Twk.Hasyim Banta Muda Nomor 1 Telepon (0651) 22888  
Faxsimile (0651) 22888, Website : [Http://kesbangpol.bandaacehkota.go.id](http://kesbangpol.bandaacehkota.go.id), Email : [kesbangpolbna@gmail.com](mailto:kesbangpolbna@gmail.com)

#### SURAT REKOMENDASI PENELITIAN

Nomor : 070/317

Dasar : - Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 7 Tahun 2014 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor; 64 Tahun 2011, Tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian.

- Peraturan Walikota Banda Aceh Nomor 66 Tahun 2016, tentang Susunan Organisasi Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Banda Aceh.

- Peraturan Walikota Banda Aceh Nomor 31 Tahun 2020, tentang Standar Operasional Prosedur pada Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Banda Aceh

Membaca : Surat dari Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Nomor: B-249/Un.08/TL/PP.00.9/05/2022 Tanggal 18 Mei 2022 tentang Permohonan Rekomendasi Penelitian

Memperhatikan : Proposal Penelitian yang bersangkutan

Dengan ini memberikan Rekomendasi untuk melakukan Penelitian kepada :

Nama : Nazri Adhlani

Alamat : Jl. Resident Jeumpet Gampong Ajuen Jeumpet Kec. Darul Imarah Kab. Aceh Besar

Pekerjaan : Mahasiswa

Kebangsaan : WNI

Judul Penelitian : Uji Tingkat Biomediasi Dengan Isolat Cyanobacteria Terhadap Kandungan Logam Hg (merkuri) pada Air Lindi TPA Gampong Jawa

Tujuan Penelitian : Untuk Mengetahui Uji Tingkat Biomediasi Dengan Isolat Cyanobacteria Terhadap Kandungan Logam Hg (merkuri) pada Air Lindi TPA Gampong Jawa (Pengumpul dan Wawancara)

Tempat/Lokasi/  
Daerah Penelitian : - DLHK3 Banda Aceh  
- TPA Gampong Jawa Kota Banda Aceh

Tanggal dan/atau  
Lamanya Penelitian : 3 (tiga) bulan

Bidang Penelitian : -

Status Penelitian : Baru

Penanggung Jawab : Nur Aida (Ketua Prodi)

Anggota Peneliti : -

Nama Lembaga : Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

Sponsor : -

Dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Peneliti wajib mentaati dan melakukan ketentuan dalam rekomendasi penelitian.
2. Peneliti menyampaikan rekomendasi penelitian kepada Instansi/Lembaga/SKPK/Camat yang menjadi tempat/lokasi penelitian.
3. Tidak dibenarkan melakukan Penelitian yang tidak sesuai/tidak ada kaitannya dengan Rekomendasi Penelitian dimaksud.
4. Harus mentaati semua ketentuan peraturan Perundang-undangan, norma-norma atau adat istiadat yang berlaku.
5. Tidak melakukan kegiatan yang dapat menimbulkan keresahan di masyarakat, disintegrasi bangsa atau keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia.
6. Surat Rekomendasi ini akan dicabut kembali dan dinyatakan tidak berlaku lagi, apabila ternyata pemegang Surat ini tidak mentaati/mengindahkan ketentuan-ketentuan seperti tersebut diatas.
7. Asli dari Surat Rekomendasi Penelitian ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.
8. Peneliti melaporkan dan menyerahkan hasil penelitian kepada Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Banda Aceh.

Ditetapkan : Banda Aceh  
Pada Tanggal : 24 Mei 2022

KEPALA BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK  
KOTA BANDA ACEH,

*Baehthiar, S.Sos*  
Baehthiar, S.Sos

Pembina Utama Muda/ NIP. 19690913 199011 1 001

AR - RANIRY

Tembusan :

1. Walikota Banda Aceh;
2. Para Kepala SKPK Banda Aceh;
3. Para Camat Dalam Kota Banda Aceh;
4. Pertinggal.

### Lampiran 3. Surat Balasan Dari SMK SMTI Banda Aceh



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI  
**SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN SMTI BANDA ACEH**

Jl. Tgk. Di'Nang No. 50 Banda Aceh 23123, Banda Aceh  
 Telp. (0651) 8082603 Fax. (0651) 29982

Nomor : B/1063/BPSDMI/SMTI-Aceh/KR/XI/2022 Banda Aceh, 24 November 2022  
 Lampiran : -  
 Hal : Permohonan Penelitian

Yth.

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi  
 UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
 di Banda Aceh

Sehubungan dengan surat dari Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh nomor B-801/Un.08/TL/PP.00.9/11/2022 tanggal 16 November 2022 perihal permohonan penelitian, kami sampaikan bahwa SMK SMTI Banda Aceh memberikan izin melakukan pengujian sampel untuk keperluan penelitian tugas akhir di Laboratorium SMK SMTI Banda Aceh.

Untuk tindak lanjut komunikasi maka bisa menghubungi layanan publik SMK SMTI Banda Aceh di nomor WA 082213391965

Demikian surat ini disampaikan, atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Kepala SMK SMTI Banda Aceh

Junaedi

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

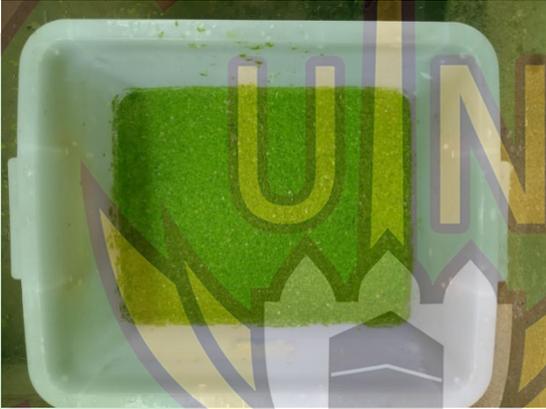
#### Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

NO	Gambar	Keterangan
1		<p>Pengambilan contoh Lindi pada TPA Gampong Jawa.</p>
2		<p>Lindi dipindahkan ke wadah yang lebih tertutup agar mudah dibawa ketempat penelitian</p>
3		<p>Kolam lindi 1 TPA Gampong Jawa, merupakan tempat pengambilan sampel penelitian</p>

4		Kolam lindi 2 TPA Gampong Jawa
5		Kolam lindi 3 TPA Gampong Jawa
6		Pengambilan tanaman <i>Lemna minor</i>

7		Tanaman <i>Lemna minor</i>
8		Bentuk Tanaman Rumput Bebek ( <i>Lemna minor</i> )
9		Kolam pemeliharaan <i>Lemna minor</i>

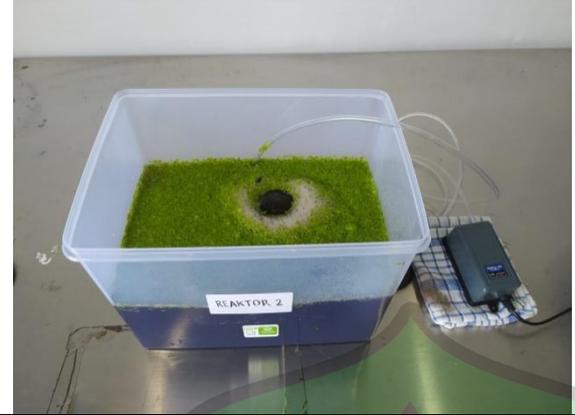
10		<p>Pengambilan air sumur, guna untuk media pertumbuhan tanaman <i>Lemna minor</i> dalam proses aklimatisasi</p>
11		<p>Proses persiapan aklimatisasi</p>
12		<p>Pemindahan tanaman <i>Lemna minor</i> dari kolam pemeliharaan ke wadah aklimatisasi</p>

13		Tampak wadah aklimatisasi
14		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada proses aklimatisasi hari ke-1
15		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada proses aklimatisasi hari ke-2

16		<p>Setelah 2 hari proses aklimatisasi tanaman <i>Lemna minor</i> siap dilakukan untuk proses selanjutnya</p>
17		<p>Tahapan penimbangan tanaman <i>Lemna minor</i> sebanyak 35 gram</p>
18		<p>Penimbangan tanaman <i>Lemna minor</i> sebanyak 35 gram menggunakan neraca analitik</p>

19		Persiapan memasukkan sampel lindi kedalam reaktor
20		Lindi diukur terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam reaktor sebanyak 5 liter menggunakan gelas ukur
21		Lindi yang telah diukur dimasukkan kedalam reaktor

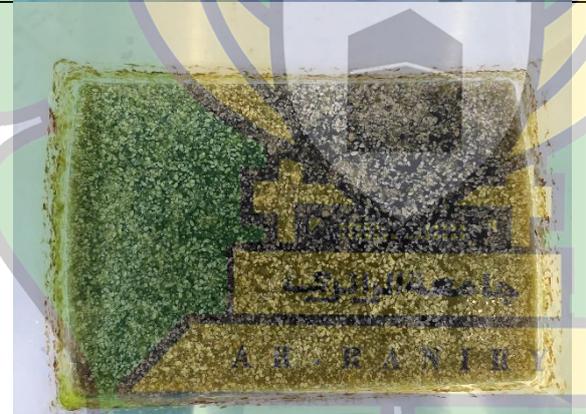
22		Dimasukkan tanaman <i>Lemna minor</i> kedalam reaktor
23		Tampak reaktor 1
24		

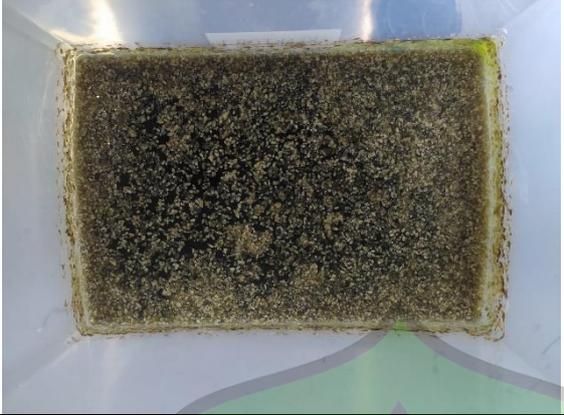
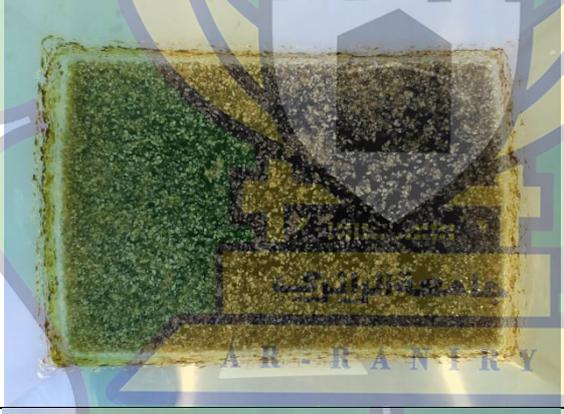
25		Tampak reaktor 2 yang dilengkapi dengan aerator
26		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-1 setelah dilakukan kontak dengan lindi pada reaktor 2
27		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-2 reaktor 1
28		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-2 reaktor 2

29		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-3 reaktor 1
30		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-3 reaktor 2
31		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-4 reaktor 1
32		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-4 reaktor 2

33		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-5 reaktor 1
34		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-5 reaktor 2
35		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-6 reaktor 1
36		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-6 reaktor 2

37		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-7 reaktor 1
38		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-7 reaktor 2
39		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-8 reaktor 1
40		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-8 reaktor 2

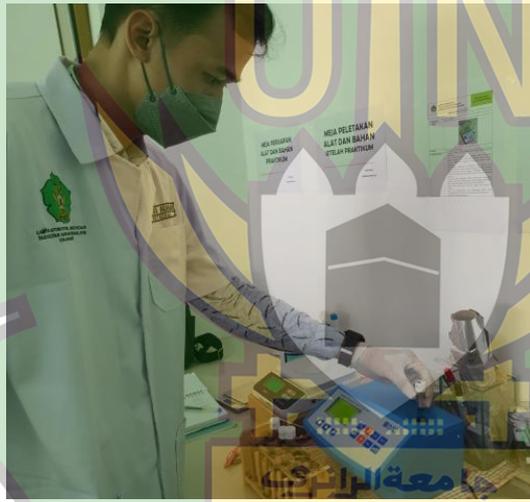
41		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-9 reaktor 1
42		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-9 reaktor 2
43		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-10 reaktor 1
44		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-10 reaktor 2

45		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-11 reaktor 1
46		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-11 reaktor 2
47		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-12 reaktor 1
48		Tampak tanaman <i>Lemna minor</i> pada hari ke-12 reaktor 2

49		Pengambilan sampel lindi menggunakan pipet ukur, guna untuk diuji kada COD dan logam berat Cd, proses ini dilakukan pada hari ke-3,6,9 dan 12
50		Tampak sampel lindi setelah perlakuan fitoremediasi
51		Persiapan sampel untuk diuji kadar CODnya dengan memasukkan sampel sebanyak 2,5ml kedalam tabung reaksi, kemudian direaksikan menggunakan larutan $K_2CrO_7$ sebanyak 1,5ml dan $H_2SO_4$ sebanyak 3,5ml



Sampel dipanaskan menggunakan COD reaktor pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam



Sampel diuji kadar COD menggunakan COD meter



Hasil kadar COD sampel pada hari ke-3 reaktor 1

		Hasil kadar COD sampel pada hari ke-3 reaktor 2
		Hasil kadar COD sampel pada hari ke-6 reaktor 1
		Hasil kadar COD sampel pada hari ke-6 reaktor 2
		Hasil kadar COD sampel pada hari ke-9 reaktor 1

	 <p>A photograph of a blue and white HANNA HI 83214 Wastewater Treatment Photometer. The LCD screen displays a reading of 278 mg/L. The control panel includes buttons for ESC, LOG, HELP, METHOD, RCL, and SETUP.</p>	<p>Hasil kadar COD sampel pada hari ke-9 reaktor 2</p>
	 <p>A photograph of a blue and white HANNA HI 83214 Wastewater Treatment Photometer. The LCD screen displays a reading of 310 mg/L. The control panel includes buttons for ESC, LOG, HELP, METHOD, RCL, and SETUP.</p>	<p>Hasil kadar COD sampel pada hari ke-12 reaktor 1</p>
	 <p>A photograph of a blue and white HANNA HI 83214 Wastewater Treatment Photometer. The LCD screen displays a reading of 265 mg/L. The control panel includes buttons for ESC, LOG, HELP, METHOD, RCL, and SETUP. A watermark for 'AR-RANBY' is visible over the device.</p>	<p>Hasil kadar COD sampel pada hari ke-12 reaktor 2</p>

## Lampiran 5. Surat Hasil Uji Logam Cd



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI**  
**BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI**  
**LABORATORIUM PENGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA)**  
 Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamsaumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0615) 46714 Fax. (0651) 49326 - 4932642  
 E-mail: bns\_bna@yahoo.com Website: http://baristandaceh.kemperin.go.id



### LAPORAN HASIL UJI

Nama Pelanggan : Nazri Adhlani  
 Alamat Pelanggan : Jeumpet Ajun-Aceh Besar  
 Tanggal di Terima : 6 Desember 2022  
 Jenis Contoh Uji : Lindi  
 Parameter Analisa : Kadmium (Cd)  
 Tanggal Analisa : 14 Desember 2022  
 Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa  
 Baku Mutu : Permen LH Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir

No	Kode Contoh Uji	Satuan	Metode Uji	Baku Mutu	Hasil Uji
1	Hari 3 Reaktor 1	mg/L	AAS	0.100	0,1450
2	Hari 3 Reaktor 2	mg/L	AAS	0.100	0,1433
3	Hari 6 Reaktor 1	mg/L	AAS	0.100	0,1364
4	Hari 6 Reaktor 2	mg/L	AAS	0.100	0,1362
5	Hari 9 Reaktor 1	mg/L	AAS	0.100	0,1238
6	Hari 9 Reaktor 2	mg/L	AAS	0.100	0,1236
7	Hari 12 Reaktor 1	mg/L	AAS	0.100	0,1236
8	Hari 12 Reaktor 2	mg/L	AAS	0.100	0,1270

BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH

جامعة الرانري

AR - RANI



Syarifuddin, S.T.,M.T  
 09032005021001

## Lampiran 6. Perhitungan Persentase Efektivitas Penurunan Bahan pencemar

### a. Mencari efektifitas penurunan COD dalam air lindi

➤ Reaktor 1 Hari ke-3

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 375 \\ &= 1609 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1609/1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{81,10\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-3

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 356 \\ &= 1628 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1628/1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{82,06\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-6

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 332 \\ &= 1652 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1652/1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{83,27\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-6

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 327 \\ &= 1657 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1657/1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{83,52\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-9

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 291 \\ &= 1693 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1693 / 1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{85,33\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-9

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 278 \\ &= 1706 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1706 / 1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{85,99\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-12

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 310 \\ &= 1674 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1674 / 1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{84,38\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-12

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 1984 - 265 \\ &= 1719 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (1719 / 1984) \times 100\% \\ &= \mathbf{86,64\%} \end{aligned}$$

**b. Mencari efektifitas penurunan Cd dalam air lindi**

➤ Reaktor 1 Hari ke-3

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,145 \\ &= 0,017 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,017 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{10,49\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-3

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1433 \\ &= 0,0187 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0187 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{11,54\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-6

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1364 \\ &= 0,0256 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0256 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{15,80\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-6

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1362 \\ &= 0,0258 \\ E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0258 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{15,93\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-9

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1238 \\ &= 0,0382 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0382 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{23,58\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-9

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1236 \\ &= 0,0384 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0384 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{23,70\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 1 Hari ke-12

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,1236 \\ &= 0,0384 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,0384 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{23,70\%} \end{aligned}$$

➤ Reaktor 2 Hari ke-12

$$\begin{aligned} X &= L_0 - L_s \\ &= 0,162 - 0,127 \\ &= 0,035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= (X / L_0) \times 100\% \\ &= (0,035 / 0,162) \times 100\% \\ &= \mathbf{21,60\%} \end{aligned}$$

## Lampiran 7. Analisa Data Uji Regresi Linier

### a. Uji Regresi Linier Cd

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,999788266							
R Square	0,999576576							
Adjusted R Square	0,998729729							
Standard Error	0,138036485							
Observations	4							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	44,9809459	22,490473	1180,35	0,020577264			
Residual	1	0,01905407	0,01905407					
Total	3	45						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	37,31768883	1,51651639	24,6075077	0,02585673	18,04852106	56,58686	18,0485	56,58686
Reaktor 1	-1045,251907	46,8339194	-22,318267	0,028505541	-1640,33328	-450,171	-1640,3	-450,171
Reaktor 2	817,6918564	54,6079703	14,9738555	0,042452384	123,8318054	1511,552	123,832	1511,552

### b. Uji Regresi Linier COD

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,988140467							
R Square	0,976421583							
Adjusted R Square	0,929264748							
Standard Error	1,03006251							
Observations	4							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	43,93897	21,96949	20,70583	0,153552653			
Residual	1	1,061029	1,061029					
Total	3	45						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	31,80080791	5,632783	5,645665	0,111605	-39,77048957	103,3721	-39,7705	103,3721
Reaktor 1	0,034992	0,040883	0,855898	0,549332	-0,484480415	0,554464	-0,48448	0,554464
Reaktor 2	-0,11661727	0,03479	-3,352	0,184571	-0,558670987	0,325436	-0,55867	0,325436