

UJI EFEKTIVITAS KOMBINASI RUMPUT BEBEK (*Lemna minor*) DAN *Anabaena* DALAM DEGRADASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN BESI (Fe) PADA LINDI TPA GAMPONG JAWA

TUGAS AKHIR

**Diajukan oleh:
Hanni Fatuwala
NIM. 180702055
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M /1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

UJI EFEKTIVITAS KOMBINASI RUMPUT BEBEK (*Lemna minor*) DAN *Anabaena* DALAM DEGRADASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN BESI (Fe) PADA LINDI TPA GAMPONG JAWA

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:
Hanni Fatuwala
NIM. 180702055**

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

Disetujui untuk dimunaqasyahkan oleh:

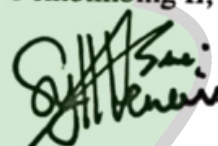
Pembimbing I,



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

NIDN. 0102107101

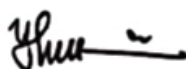
Pembimbing II,



Syafrina Sari Lubis, M.Si

NIDN. 2025048003

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

UJI EFEKTIVITAS KOMBINASI RUMPUT BEBEK (*Lemna minor*) DAN *Anabaena* DALAM DEGRADASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN BESI (Fe) PADA LINDI TPA GAMPONG JAWA

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: Jumat, 12 Mei 2023
21 Syawal 1444

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua,

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

Sekretaris,

Syafrina Sari Lubis, M.Si
NIDN. 2025048003

Penguji I,

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIDN. 2002028301

Penguji II,

Diannita Harahap, M.Si
NIDN. 2022038701

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



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hanni Fatuwala
NIM : 180702055
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Uji Efektivitas Kombinasi Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* dalam Degradasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Besi (Fe) Pada Lindi TPA Gampong Jawa

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, 12 Mei 2023

Yang Menyatakan,



Hanni Fatuwala

ABSTRAK

Nama : Hanni Fatuwala
NIM : 180702055
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Uji Efektivitas Kombinasi Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam Degradasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Besi (Fe) pada Lindi TPA Gampong Jawa
Tanggal Sidang : 12 Mei 2023
Jumlah Halaman : 69 halaman
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Irhamni, S.T., M.T, IPM.
Pembimbing 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Kata Kunci : Logam berat, Kadmium, Besi, *Lemna minor*, *Anabaena*, Air Lindi

Kandungan kadmium (Cd) dan besi (Fe) yang tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya permasalahan lingkungan maupun kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* dalam degradasi logam berat kadmium (Cd) dan besi (Fe) pada air lindi di TPA Gampong Jawa. Pengujian efektivitas ini dilakukan dengan variasi waktu kontak 2,4,dan 6 hari serta pengujian dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Terjadi perubahan fisik pada air dan *Anabaena* menjadi menghitam dan rumput bebek (*Lemna minor*) yang berwarna pucat. Penurunan logam berat kadmium (Cd) tertinggi terjadi pada hari ke-4 dengan persentase 94,55% dan pada besi (Fe) terjadi di hari ke-2 dengan persentase 62,58%. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* dalam mengurangi logam berat kadmium (Cd) dan Besi (Fe) pada air lindi terbukti efektif.

ABSTRACT

Name : Hanni Fatuwala
NIM : 180702055
Study Program : Environmental Engineering
Title : The Effectiveness Of Combined Duckweed (*Lemna Minor*), Cyanobacteria In The Degradation For Cadmium (Cd) And Iron (Fe) Metals
Date of Thesis Conference : May, 12nd 2023
Number of page : 69
Thesis Advisor 1 : Dr. Ir. Irhamni, S.T., M.T, IPM.
Thesis Advisor 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Keywords : heavy metals; cadmium; iron; Lemna minor; anabaena; leachate

The high content of cadmium (Cd) and iron (Fe) is one of the causes of environmental and health problems. This study aims to test the combined effectiveness of duckweed (*Lemna minor*) and *Anabaena* in the degradation of heavy metals cadmium (Cd) and iron (Fe) in leachate water at the Gampong Jawa landfill. This effectiveness test was carried out with a variation of contact times of 2, 4, and 6 days and the test was carried out using an *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Physical changes occurred in the water, and *Anabaena* became blackened and duckweed (*Lemna minor*) was pale in color. The highest decrease in heavy metal cadmium (Cd) occurred on day 4 with a percentage of 94.55% and in iron (Fe) occurred on day 2 with a percentage of 62.58%. This demonstrates the effectiveness of incorporating duckweed (*Lemna minor*) and *Anabaena* in reducing heavy metals like cadmium (Cd) and iron (Fe) in leachate water.

A R - R A N I R Y

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil ‘Alaamiin. Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Uji Efektivitas Kombinasi Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* dalam Degradasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Besi (Fe) pada Lindi TPA Gampong Jawa”** sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi. Shalawat serta salam diucapkan kepada kekasih Allah yaitu Nabi Besar Muhammad SAW, semoga rahmat serta hidayah yang Allah juga diberikan kepada seluruh muslimin sekalian.

Proses penyusunan tugas akhir ini tentunya saja mengalami berbagai kesulitan, dan hambatan mulai dari pengumpulan literatur, pengerjaan di lapangan, pengambilan sampel hingga pada pengolahan data maupun proses penulisan. Namun dengan penuh semangat dan kerja keras serta keyakinan, akhirnya tugas ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang terlibat, yaitu :

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi beserta jajarannya.
2. Husnawati Yahya, S.Si., - M.Sc selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Aulia Rohendi, S.T., M.Sc selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan dan Koordinator Tugas Akhir Prodi Teknik Lingkungan.
4. Dr. Ir. Irhamni, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah berkenan untuk mengarah dan membimbing penulis serta memberikan ilmu, saran dan solusi pada setiap permasalahan penulisan tugas akhir ini.
5. Syafrina Sari Lubis, M.Si selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah banyak memberikan arahan serta saran dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Dr. Mujahid Hamdan, M.Sc, selaku dosen pembimbing akademik.

7. Seluruh dosen Teknik Lingkungan yang telah berbagi ilmu selama masa perkuliahan.
8. Staff operator dan pranata Laboratorium Prodi Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu administrasi.
9. Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry.
10. Kepala Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Syiah Kuala.
11. Kepala Laboratorium Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala.
12. Ayahanda Idris dan Ibunda Evi Havianti yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan terbaik sampai hari ini kepada penulis sehingga dapat terselesaikan tugas akhir ini.
13. Aya Khalila S.T, Nazri Adhlani S.T dan Dimas Ananda Nasution yang senantiasa memberikan masukan selama penyusunan tugas akhir.
14. Pemilik NIM 190702027 yang telah memberikan semangat serta dukungan penuh cinta dan keterlibatannya dari awal penyusunan hingga selesai.
15. Dan semua pihak yang tidak bisa dijelaskan namanya satu-persatu.

Penulis juga mengharapkan saran serta masukan yang kedepannya dapat menjadi penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga apa yang disajikan dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai ilmu pengetahuan. Aamiin Yarabbal ‘Alaamiin.

Banda Aceh, 21 Agustus 2022

Penulis,

Hanni Fatuwala

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Air Lindi	5
2.1.1. Logam Berat Kadmium (Cd).....	6
2.1.2. Logam Berat Besi (Fe)	7
2.1.3. Baku Mutu Air Lindi	7
2.2. Biosorpsi.....	8
2.3. Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)	9
2.3.1. Karakteristik Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)	10
2.3.2. Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>) dalam Fitoremediasi	10
2.4. Cyanobacteria.....	11
2.4.1. Karakteristik <i>Anabaena</i>	12
2.4.2. <i>Anabaena</i> dalam Biosorpsi.....	12

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Rancangan Penelitian	17
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	19
3.3. Populasi dan Sampel.....	20
3.4. Alat dan Bahan Penelitian	20
3.4.1 Alat	20
3.4.2 Bahan	21
3.5. Variasi waktu yang digunakan	21
3.6. Prosedur Eksperimen.....	21
3.6.1.Pengambilan Sampel Air Lindi	21
3.6.2.Persiapan Tanaman Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>) dan Cyanobacteria	22
3.6.3.Uji Kemampuan Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>) dan Cyanobacteria dalam Mendegradasi Cd dan Fe	23
3.7. Analisis Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1. Hasil.....	24
4.1.1.Karakteristik Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)– <i>Anabaena</i> dan Air Lindi Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe	24
4.1.2.Efektivitas Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)– <i>Anabaena</i> Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe di Air Lindi TPA Gampong Jawa..	26
4.2. Pembahasan	28
4.2.1.Karakteristik Rumput Bebek– <i>Anabaena</i> dan Air Lindi Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe	28
4.2.2.Efektivitas Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)– <i>Anabaena</i> Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe di Air Lindi TPA Gampong Jawa..	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1. Kesimpulan.....	34
5.2. Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rumpun bebek (<i>Lemna minor</i>)	10
Gambar 2.2 Kultur Cyanobacteria	12
Gambar 3.1 Peta Titik Pengambilan Sampel Penelitian	20
Gambar 4.1 (a) <i>Anabaena</i> secara mikroskopis (b) <i>Anabaena</i> secara makroskopis	24
Gambar 4.2 Grafik penurunan logam berat Cd dengan kombinasi Rumpun Bebek (<i>Lemna minor</i>) dan <i>Anabaena</i>	26
Gambar 4.3 Grafik penurunan logam berat Fe dengan kombinasi Rumpun Bebek (<i>Lemna minor</i>) dan <i>Anabaena</i>	27
Gambar 4.4 Grafik persentase penurunan logam berat Cd dan Fe dengan kombinasi Rumpun Bebek (<i>Lemna minor</i>) dan <i>Anabaena</i>	27



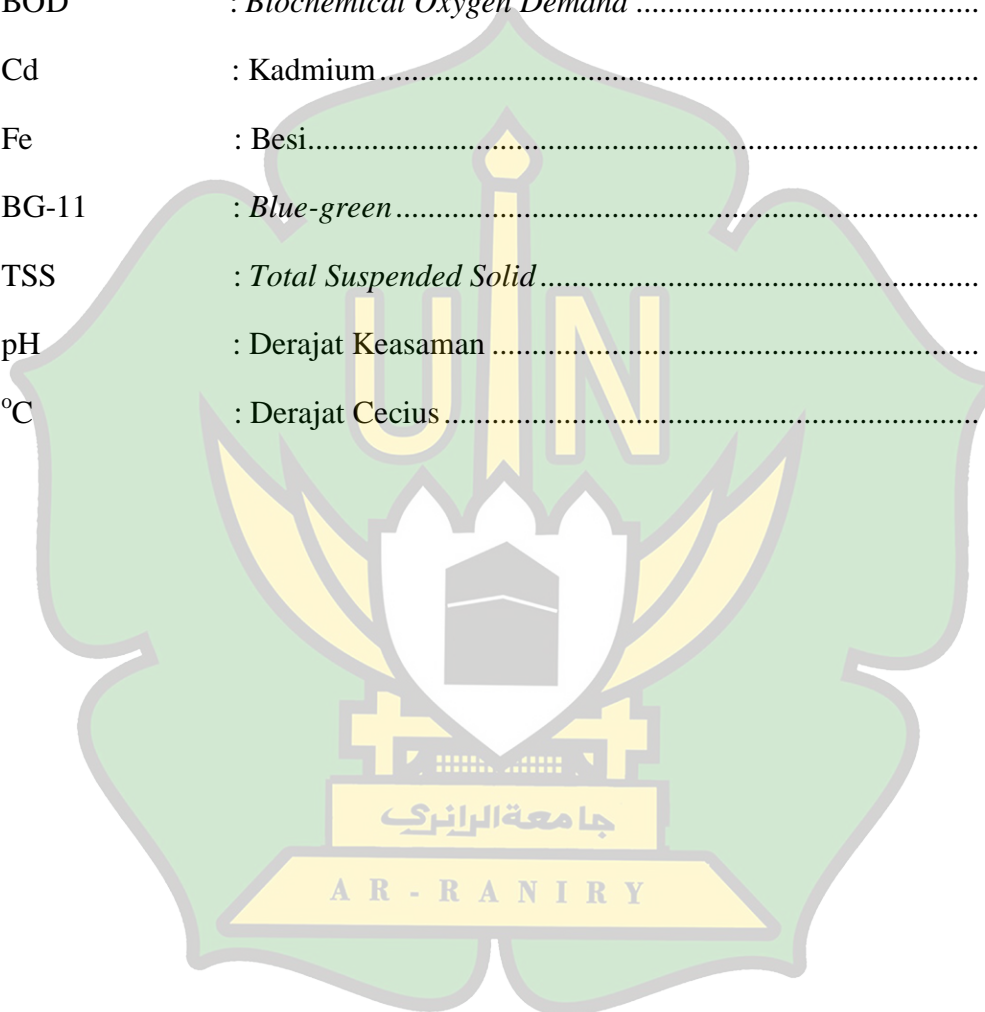
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi TPA Gampong Jawa	3
Tabel 2.1 Standar baku mutu air lindi bagi usaha dan/atau kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir	8
Tabel 2.2 Data Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	19
Tabel 3.2 Alat yang digunakan dalam penelitian	21
Tabel 3.3 Bahan yang digunakan selama penelitian	21
Tabel 4. 1 Perubahan Secara Fisik yang terjadi selama penelitian	25
Tabel 4. 2 Nilai uji efektivitas penurunan logam berat Cd dan Fe pada air lindi	26



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

TPA	: Tempat Pemrosesan Akhir	1
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>	1
BOD	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i>	1
Cd	: Kadmium	1
Fe	: Besi	2
BG-11	: <i>Blue-green</i>	4
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>	8
pH	: Derajat Keasaman	11
°C	: Derajat Cecius	12



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring bertambahnya pertumbuhan penduduk di Indonesia maka perkembangan ekonomi serta gaya hidup yang makmur juga meningkat. Hal ini dapat menyebabkan meningkatnya timbulan sampah perkotaan (Miao dkk., 2019). Permasalahan ini juga dialami di Aceh khususnya di Kota Banda Aceh yang merupakan Ibukota Provinsi Aceh yang menjadi pusat kegiatan. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi sampah perkotaan dengan metode penimbunan, pengomposan pembakaran dan lainnya namun dari metode ini dapat menghasilkan air lindi yang akan mencemari lingkungan (Fitriawardhani, 2020)

Air lindi merupakan air yang terdapat pada suatu limbah yang mampu melarutkan senyawa organik. Air lindi memiliki kandungan polutan yang dapat merusak lingkungan dan mempengaruhi kualitas air di sekitar TPA (Qiu dkk.,2016; Mukhrejee dkk., 2014; Derco dkk.,2010; Ling dan Zhang, 2017). Lindi dari TPA dapat dihasilkan dari air hujan yang merembes melalui bahan limbah yang dibuang yang mengharuskan mendapatkan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan secara aman (Dogaris dkk., 2020)

Kandungan logam berat yang dimiliki air lindi tak hanya senyawa kimia namun terdapat logam berat yang tergolong esensial yaitu Zn, Cu, Co hingga Mn dengan konsentrasi kecil. Kandungan logam berat pada TPA Gampong Jawa untuk kadar Fe telah melewati ambang batas yaitu 10,9191 ppm (Irhamni, 2017). Kandungan logam berat non esensial juga terdeteksi dalam kandungan air lindi yaitu Hg, Cd, Pb serta Cr akibat dari berbagai kegiatan manusia dengan sifat yang sangat toksik (Irhamni dkk., 2017; Syawalian dkk., 2019)

Tanaman hiperakumulator mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah tinggi (Ceschin dkk., 2020). Rumput bebek (*Lemna minor*) merupakan salah satu tanaman hiperakumulator yang mampu mengakumulasi logam berat diperairan dengan menyerap kedalam jaringannya setelah terpapar logam berat

(Ekperusi dkk., 2019). Penggunaan rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki kelebihan yaitu memiliki pertumbuhan yang mudah dan cepat, masa penyimpanan yang panjang, biaya rendah dan minim kapasitas dari lumpur kimia maupun biologis (Sasmaz dkk., 2019). Penggunaan rumput bebek (*Lemna minor*) dalam degradasi air lindi dalam menurunkan kadar Cu, Fe, COD dan BOD sebesar 91%, 77%, 39% dan 47% (Daud dkk., 2018). Rumput bebek (*Lemna minor*) mampu mereduksi logam seng dengan performa terbaik di periode 5 hari pertama dalam kondisi aerasi (Abadi dkk., 2022).

Selain menggunakan metode fitoremediasi dalam menurunkan logam berat, metode lain yang telah digunakan adalah teknik filtrasi membran, koagulasi serta bioremediasi (Alvarez dkk., 2017; Luo dkk., 2020). Metode lain yang terbukti efektif untuk menghilangkan logam berat dalam air limbah adalah teknik biosorpsi dan bioakumulasi menggunakan alga serta organisme sejenisnya (Abdolali dkk., 2017). Penggunaan Cyanobacteria memiliki potensi dalam mengurangi logam berat yang diakibatkan memiliki efisiensi fotosintesis yang tinggi, struktur yang sederhana, luas permukaan yang besar dan kapasitas penyerapan yang tinggi dengan biaya operasional yang rendah (Safari dan Asbchin, 2018; Shen dkk., 2021; Ghimere dkk, 2017). Penggunaan Cyanobacteria dalam mengurangi kadar Cu adalah hingga 80,02% (Abdilah dan Troskialina, 2020) dan juga mampu mengurangi kadar logam Pb hingga 97,8% dalam waktu 21 hari (El-Hameed dkk., 2018).

Penulis telah melakukan studi awal pada air lindi yang berada TPA Regional Blang Bintang dan TPA Gampong Jawa Kota Banda Aceh. Pemilihan kedua TPA ini dikarenakan TPA ini merupakan TPA yang berperan dalam menampung sampah yang dihasilkan dari dua kota/kabupaten yaitu Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar. Hasil pemeriksaan yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan, Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala untuk kadar logam berat Cd pada air lindi di TPA Regional Blang Bintang Aceh Besar didapatkan hasil untuk kadar Cd yaitu 0,0008 mg/L sedangkan TPA Gampong Jawa adalah 0,147 mg/l. Untuk hasil tersebut yang telah melewati batas baku mutu PermenLH No.59/Menlhk/Setjen/Kum.I/7/2016

Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah yaitu 0,1 mg/l adalah TPA Gampong Jawa.

Tabel 1.1 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi TPA Gampong Jawa

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu	PERMENLHK
1.	Tembaga (Cu)	mg/L	0,0003	2	No 5 tahun 2014
2.	Besi (Fe)	mg/L	12,256	5	No 5 tahun 2014
3.	Kadmium (Cd)	mg/L	0,147	0,1	No 59 tahun 2016
4.	Merkuri (Hg)	mg/L	TD	0,005	No 59 tahun 2016

Berdasarkan permasalahan diatas maka studi ini dilakukan untuk menyelidiki potensi yang dimiliki dari kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam menghilangkan logam berat kadmium dan besi pada air lindi dengan metode biosorpsi dan bioakumulasi yang kedepannya akan memberikan masukan serta mengembangkan sistem alami untuk menghilangkan logam berat dari air lindi yang memiliki biaya relatif hemat dan layak secara teknis.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana karakteristik rumput bebek (*Lemna minor*) – *Anabaena* serta air lindi pada pengujian pengurangan kadar kadmium (Cd) dan besi (Fe) di air lindi TPA Gampong Jawa?
- b. Bagaimana efektivitas waktu kontak dalam penguraian logam berat kadmium (Cd) dan besi (Fe) menggunakan kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* pada lindi di TPA Gampong Jawa?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukan penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui karakteristik rumput bebek (*Lemna minor*) – *Anabaena* serta air lindi pada pengujian pengurangan kadar kadmium (Cd) dan besi (Fe) di air lindi TPA Gampong Jawa.

- b. Untuk mengetahui efektivitas waktu kontak dalam penguraian logam berat kadmium (Cd) dan besi (Fe) dengan kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* pada lindi di TPA Gampong Jawa.

1.4. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini memiliki manfaat antara lain:

- a. Penelitian ini memiliki manfaat untuk mengetahui karakteristik rumput bebek (*Lemna minor*) – *Anabaena* serta air lindi pada pengujian pengurangan kadar kadmium (Cd) dan besi (Fe) di air lindi TPA Gampong Jawa.
- b. Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui bahwa kandungan logam berat dapat dikurangi sehingga tidak akan mencemari lingkungan disekitar TPA Gampong Jawa.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian memiliki batasan dengan analisis kemampuan dari kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* terhadap logam berat kadmium dari sampel air lindi di TPA Gampong Jawa. Adapun batasan penelitian yang disimpulkan sebagai berikut:

1. Media yang digunakan dalam peremajaan *Anabaena* adalah media cair BG-11₀
2. Genus dari Cyanobacteria yang digunakan adalah *Anabaena*
3. Air lindi yang digunakan adalah air lindi yang berasal dari TPA Gampong Jawa dengan kadar kadmium mencapai 0,147 mg/l dan besi hingga 12, 256 mg/l.
4. Variasi kontak waktu yang digunakan adalah 2, 4 dan 6 hari.
5. Kemampuan isolat *Anabaena* dalam degradasi logam kadmium (Cd) dan besi (Fe) dilihat dari persentase efektivitas degradasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Lindi

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dilakukannya proses pengelolaan sampah mulai dari tahap dihasilkan, dikumpulkan, diangkut hingga dilakukannya proses pengurugan maka dari itu pemilihan lokasi TPA dilakukan dengan sedemikian rupa guna menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan (Darnas dkk., 2020). Dalam pembuangan sampah kota umumnya menggunakan metode *landfilling* yaitu metode pembuangan limbah yang sering digunakan karena memiliki logistik dan teknik yang sederhana serta relatif murah (Dogaris dkk., 2020)

Lindi (*leachate*) merupakan air dengan kandungan organik dalam konsentrasi yang tinggi (Sari dan Lucyana, 2021). Lindi terbentuk karena adanya proses infiltrasi dan perkolasi dari air hujan, air tanah, air limpasan maupun air banjir yang melewati tempat pembuangan sampah yang mampu mengikat bahan organik dan anorganik melalui proses fisika, kimia maupun biologi (Dimas dkk., 2017; Sarwono dkk., 2017)

Pada umumnya pembuangan yang terjadi pada TPA menentukan karakteristik lindi yang dihasilkan. Faktor yang mempengaruhi antara lain adalah umur TPA dan kondisi iklim dari daerah TPA, lindi pada TPA muda memiliki biodegradabilitas yang tinggi dengan menghasilkan konsentrasi COD yang tinggi (3.000-60.000 mg/L) dan BOD (2.000-3.000 mg/L), sedangkan lindi yang dihasilkan dari TPA yang matang (>10 tahun) yang ditandai dengan biodegradabilitas rendah dengan rasio BOD/COD >0,3 mg/L dan kadar amoniak yang tinggi (Hassan dkk., 2021)

Keberadaan lindi mampu menyebabkan berbagai pencemaran karena mengandung bahan kimia organik (hidrokarbon) dan anorganik (logam berat) serta bakteri patogen. Karakteristik dari air lindi sangat bervariasi tergantung pada pengolahan yang terjadi baik proses fisik, kimiawi dan biologi. Lindi juga memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh curah hujan, mur *landfill* serta

tingkat perkolasi air, kuantitas sampah, jenis dan komposisi sampah, tingkat stabilitas dari *landfill*, dan kelembaban (Fajariah, 2017)

Karakteristik air lindi berbeda-beda tergantung proses fisik, kimia, serta biologi. Pada TPA Kota Banda Aceh karakteristik air limbah adalah Hg, Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Pb, dan Fe (Irharni dkk., 2017), sedangkan pada TPA Kota Riyadh, Saudi Arabia memiliki kandungan Fe, Mn, Mo, Ni, Cr, Zn, dan Cu (Al-Wabel dkk., 2011), dan pada TPST Bantar Gebang, Jawa Barat mengandung Cd (Fadhilah dan Fitria, 2020)

2.1.1. Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat merupakan komponen alami yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, dan udara. Sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu bersifat toksik tinggi, sedang dan rendah. Logam berat yang bersifat toksik tinggi terdiri dari unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Logam berat yang bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan logam berat yang bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe. Pada kadar rendah, logam berat diperlukan oleh makhluk hidup untuk pengaturan berbagai fungsi kimia dan fisiologi tubuh (Sulistia, 2019)

Kandungan logam berat yang berada di air lindi bersifat esensial maupun non-esensial. Kandungan logam berat esensial dari lindi antara lain Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lainnya dimana keberadaan logam berat ini dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam jumlah tertentu. Sedangkan logam non-esensial yang terkandung dalam lindi antara lain Hg, Cd, Pb, Cr dan lainnya yang masih belum diketahui manfaatnya serta dapat bersifat racun (Rompegading dkk., 2021). Logam kadmium (Cd) pada air lindi dihasilkan dari kegiatan masyarakat seperti limbah pasar limbah, rumah tangga dan baterai bekas. Keberadaan logam berat kadmium (Cd) dalam konsentrasi tinggi mampu menimbulkan keracunan, gangguan kesehatan serta mampu membunuh biota yang berada disekitar area tersebut (Alisa dkk., 2020; Fadhilah dan Fitria, 2020). Dalam kesehatan manusia logam berat kadmium (Cd) dalam jangka waktu pendek akan menimbulkan gangguan dari sistem pernapasan antara lain batuk, sesak napas,

bronchopneumonia, *edema* paru, dan *cyanosis* serta *methemoglobinemia* (Sunarsih dkk., 2018). Efek lain dari keberadaan kadmium (Cd) di dalam tubuh manusia adalah kerusakan tubulus ginjal. Kerusakan glomerulus, penurunan mineralisasi tulang, penurunan fungsi paru-paru dan emfisema (Fadhilah dan Fitria, 2020).

2.1.2. Logam Berat Besi (Fe)

Pencemaran logam berat memiliki dampak yang negatif bagi keberlangsungan kehidupan makhluk hidup. Kandungan logam berat yang dihasilkan dari aktivitas manusia tak terkecuali kandungan logam berat besi (Fe) yang berasal dari korosi pipa-pipa air mineral logam dengan hasil elektrokimia yang mengandung padatan sehingga menghantarkan listrik yang menyebabkan sifat korosi (Kamarati dkk., 2018). Pencemaran logam berat yang diakibatkan oleh besi (Fe) dapat mempengaruhi kesehatan manusia diantaranya dapat menyebabkan gangguan metabolisme zat besi, peningkatan feritin, peningkatan hemosidering yang berpengaruh terhadap pankreas, otot, ginjal yang jika terpapar dalam jangka waktu lama akan menyebabkan kerusakan fungsi organ manusia. Keberadaan besi (Fe) pada tubuh dan lingkungan dibutuhkan ketika dalam konsentrasi yang rendah namun jika keberadaannya dalam tubuh dan lingkungan maka akan dapat menyebabkan kematian atau cacat (Sudargo, 2018)

2.1.3. Baku Mutu Air Lindi جامعة الرانيري

Lindi yang akan dialirkan ke badan air harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/MenLhk/Setjen/kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi bagi usaha dan/atau kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan baku mutu seperti yang terdapat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Standar Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir

Parameter	Kadar Maksimum	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N- Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/MenLhk/Setjen/kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi bagi usaha dan/atau kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

2.2. Biosorpsi

Mekanisme sebuah mikroba dalam menghilangkan logam berat dalam lingkungan adalah biosorpsi dan bioakumulasi (Kumar & Bharadvaja, 2020). Biosorpsi merupakan teknologi yang memanfaatkan mikroorganisme hidup maupun mati guna mengolah logam berat beracun dalam limbah cair yang terbukti memiliki potensi yang cukup besar dalam menghilangkan polutan secara efisien dari limbah cair (Safari dan Ahmady-Asbchin, 2018). Proses biosorpsi memiliki definisi kemampuan bahan biologis untuk menyerap ion logam dari sebuah limbah melalui penyerapan secara kimia dan fisik sehingga penggunaan biomassa alga merupakan salah satu cara remediasi menggunakan bahan biologis dengan fleksibel dan murah dibandingkan dengan cara konvensional (Ismail dkk., 2022; Smječanin dkk., 2022). Bioakumulasi melakukan penyerapan logam secara intraseluler, presipitasi intraseluler, metilasi serta mekanisme lainnya sehingga dalam proses bioakumulasi penyerapan logam lebih tinggi dan Cyanobacteria menjadi pilihan yang sangat baik untuk bioakumulasi logam (Abadi dkk., 2021; Bon dkk., 2021; Zinicovscaia dkk., 2020)

Faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi dan bioakumulasi logam berat oleh mikroorganisme antara lain konsentrasi logam awal dalam larutan, suhu, pH, dan waktu kontak (Shen dkk., 2021). Untuk sistem biologam hidup, banyak faktor lain seperti nutrisi dalam media pertumbuhan, laju pertumbuhan, dan intensitas cahaya juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan logam (Liu dan Liao, 2021; Luo dkk., 2020)

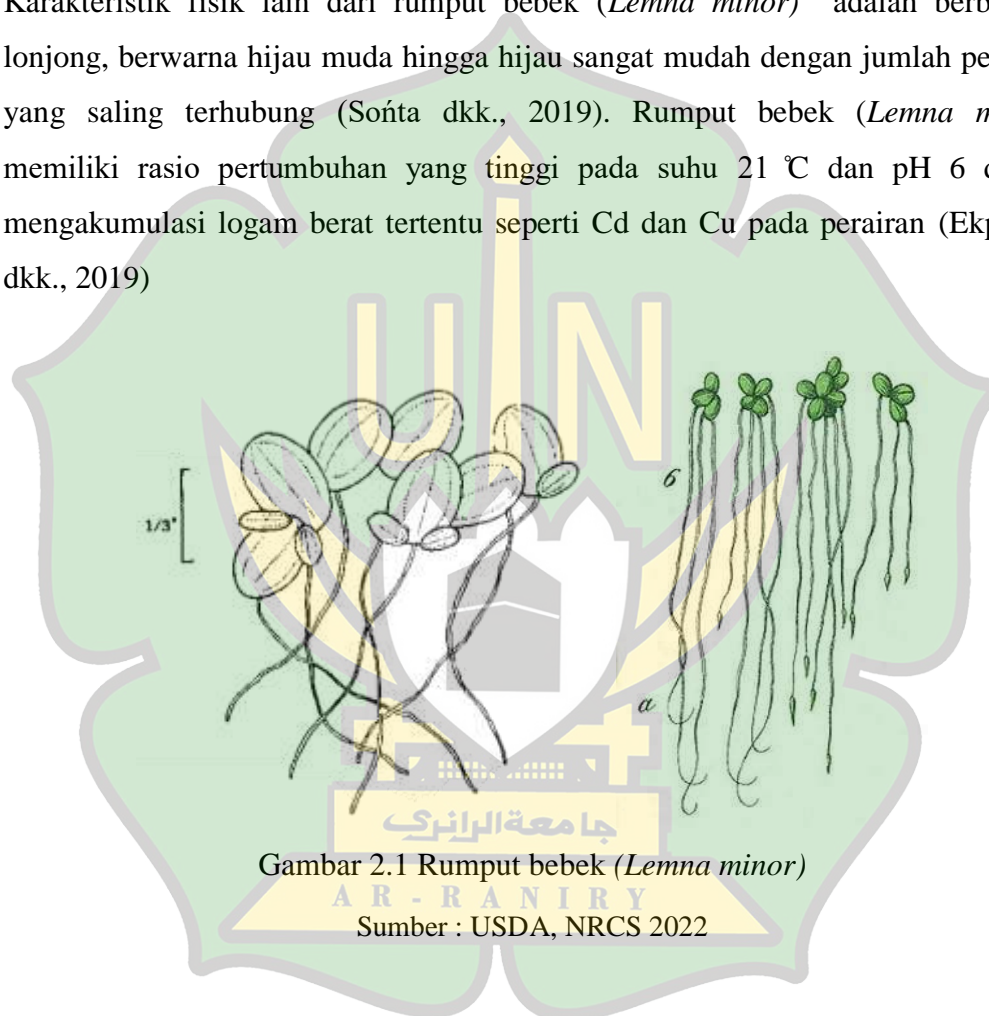
2.3. Rumput Bebek (*Lemna minor*)

Rumput bebek (*Lemna minor*) merupakan tanaman air yang hidupnya mengambang dipermukaan air dengan akar terendam yang umumnya tumbuh di perairan tropis dan memiliki nutrisi melimpah yang didapatkan dari kemampuannya dalam menyerap nutrisi dan bahan kimia didalam air yang kemudian dialirkan ke dalam struktur asam nukleat, protein dan klorofilnya yang berada di daun (Abadi dkk., 2021; Ceschin dkk., 2020). Penggunaan rumput bebek (*Lemna minor*) dalam fitoremediasi dikarenakan tumbuhan ini memiliki pertumbuhan yang cepat, masa penyimpanan yang panjang, biaya rendah (Sasmaz dkk., 2019). Rumput bebek (*Lemna minor*) termasuk kedalam kategori hiperakumulator bersama dengan tumbuhan lainnya seperti *Colocasia esculenta*, *Azolla filiculoides*, serta beberapa tanaman air lainnya (Mojiri dkk., 2021). Rumput bebek (*Lemna minor*) menggunakan proses rhizofiltrasi dalam menyerap kontaminan dan logam berat (Sasmaz dkk., 2019). Adapun klasifikasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) adalah (Ekperusi dkk., 2019):

Domain	: Eukaryota
Kingdom	: Plantae
Phylum	: Spermatophyta
Subphylum	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledonae
Ordo	: Araceae (Arales)
Family	: Lemnaceae
Genera	: <i>Lemna</i>
Spesies	: <i>Lemna minor</i>

2.3.1. Karakteristik Rumput Bebek (*Lemna minor*)

Karakteristik dari rumput bebek (*Lemna minor*) sendiri yang merupakan tanaman air yang mengapung membentuk tikar diatas atau dibawah permukaan air. Rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki daun dengan lebar kurang dari 5 mm baik, baik tunggal maupun kelompok yang terdiri dari dua atau tiga daun. Karakteristik fisik lain dari rumput bebek (*Lemna minor*) adalah berbentuk lonjong, berwarna hijau muda hingga hijau sangat mudah dengan jumlah pelepah yang saling terhubung (Soñta dkk., 2019). Rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki rasio pertumbuhan yang tinggi pada suhu 21 °C dan pH 6 dalam mengakumulasi logam berat tertentu seperti Cd dan Cu pada perairan (Ekperusi dkk., 2019)



Gambar 2.1 Rumput bebek (*Lemna minor*)

Sumber : USDA, NRCS 2022

2.3.2. Rumput Bebek (*Lemna minor*) dalam Fitoremediasi

Potensi yang dimiliki rumput bebek (*Lemna minor*) dalam fitoremediasi sangat tinggi namun dalam beberapa masalah yang terjadi rumput bebek (*Lemna minor*) cenderung membentuk lapisan padat yang mengakibatkan kematian pada daun rumput bebek (*Lemna minor*) dibawah permukaan lapisan yang dapat mengakibatkan berhentinya aktivitas fitoremediasi dikarenakan peningkatan degradasi mikroba dari daun mati yang menghasilkan pelepasan nutrisi ke dalam

air namun permasalahan ini dapat diatasi dengan pemanenan daun secara berkala guna mencegah pembentukan lapisan pada tumbuhan rumput bebek (*Lemna minor*) (Ceschin dkk., 2020)

Penggunaan Rumput bebek (*Lemna minor*) dalam penanganan pencemaran logam berat telah dibuktikan secara efektif mengakumulasi logam dalam jumlah besar ke dalam jaringannya dengan kemampuan *recovery* dari rumput bebek (*Lemna minor*) dalam beberapa hari usai terkena paparan tinggi toksisitas dari logam berat termasuk kadmium (Ekperusi dkk., 2019). Keefektifitasan dari rumput bebek (*Lemna minor*) dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bioavailabilitas logam dan durasi penelitian (Ekperusi dkk., 2019)

2.4. Cyanobacteria

Cyanobacteria merupakan kelompok terbesar dan beragam dari filum fotosintesis dan tidak benar-benar eukariotik dengan sifat autotrofik yang mampu menghasilkan oksigen dan sifat fotoautotrofik yang menjadikan beberapa spesiesnya mengikat nitrogen, sehingga dalam pendekatan teknologi yang memanfaatkan Cyanobacteria dalam menghilangkan polutan dari lingkungan menjadi pendekatan yang baru dan ekonomis (Johnson dkk., 2019). Keberadaan spesies Cyanobacteria mendominasi komunitas fitoplankton yang tersebar luas di seluruh ekosistem antara lain air tawar, air laut, danau, sungai bahkan kolam. Spesies Cyanobacteria yang ditemukan di Sungai Rusia, California Utara (AS) adalah spesies *Oscillatoriales* (Conklin dkk., 2020) sedangkan spesies Cyanobacteria yang terdapat pada badan air tawar di Sri Lanka adalah *Oscillatoria* sp., *Synechococcus* sp., *Chroococciopsis* sp., *Nostoc* sp. (Hossain dkk., 2020).

Perbedaan sebaran spesies dari Cyanobacteria di beberapa ekosistem diakibatkan adanya perbedaan kemampuan bertahan hidup yang dimiliki dari setiap spesies Cyanobacteria. Secara umum spesies Cyanobacteria hidup di kadar pH 7-9 (Zhao dkk., 2019). Namun beberapa spesies mampu bertahan hidup di kadar pH yang rendah dan tinggi. Spesies *Nostoc* memiliki kemampuan bertahan hidup dalam kondisi pH rendah yaitu kadar 5, dan mampu bertahan hidup dengan

kadar pH hingga 8-12 (Ramadan dkk., 2021). Untuk spesies *Oscillatoria* sp. hanya mampu bertahan di kadar pH 9 (Nurhasanah dkk, 2021).



Gambar 2.2 Kultur Cyanobacteria
Sumber : Pribadi

2.4.1. Karakteristik *Anabaena*

Cyanobacteria dengan genus *Anabaena* memiliki karakteristik fisik yang sel-selnya berbentuk silinder, berbentuk tong atau bulat, berwarna pucat atau biru muda atau hijau zaitun, dengan gelembung gas (vakuola) atau tanpa gelembung, tetapi kadang-kadang dengan isi granular. Sel terminal sedikit memanjang, tidak bervakuola. Heterokista bersekat-sekat, soliter, berjarak terpisah, lonjong, terkadang bulat, dan biasanya sedikit lebih besar dari sel vegetatif. Akinetes berbentuk bulat, soliter, dan terletak di tengah-tengah di antara dua heterokista. Cyanobacterium ini berkembang biak dengan hormogonia. *Anabaena* diisolasi pada media kultur Allen dan tumbuh dengan baik pada media Bold, Chu-10, dan BG-11. Pertumbuhan optimal pada media ini diamati pada suhu 25-28°C (Sadvakasova dkk., 2022)

2.4.2. *Anabaena* dalam Biosorpsi

Cyanobacteria adalah adsorben yang sering digunakan dalam menghilangkan logam berat dalam larutan dan menjanjikan dikarenakan memiliki efisiensi fotosintesis yang tinggi, struktur sederhana, luas permukaan yang besar dan kapasitas serapan yang tinggi (Safari dan Ahmady-Asbchin, 2018; Shen dkk.,

2021). Proses pengolahan menggunakan Cyanobacteria banyak memberikan keunggulan terjadinya penurunan biaya operasional yang dimana ketika fotosintesis menggantikan persyaratan mekanisme dari aerasi, penurunan pelepasan CO₂ serta nutrisi yang dibutuhkan dari pertumbuhan mikroalga dapat menggunakan air limbah (Ghimere dkk, 2017). Spesies Cyanobacteria mampu menurunkan kadar logam berat dan dimana menjadi adsorbat antara lain *Anabaena*. dengan logam berat adsorbat Cu(II), Cd(II) dan Pb(II) (Fuad Hossain dkk., 2020).

Kemampuan Cyanobacteria dalam mendetoksitas logam berat dengan keseragaman di dalam sel (Metallothionine, Phytochellatine dan polifosfat) dan kapasitas resistensi yang tinggi ini yang membantu penyerapan ion logam melalui proses biosorpsi dan bioakumulasi yang dilakukan oleh Cyanobacteria dkk., 2018). Mekanisme penyerapan ion logam berat dengan *Anabaena* menggunakan penyerapan (ekstraseluler) yang aktif dan merupakan pendorong secara metabolik yang sering disebut dengan bioakumulasi dan adsorpsi (intraseluler) yang merupakan proses yang pasif dan sering disebut dengan biosorpsi (Jacob dkk., 2018; Palaniswamy dan Veluchamy, 2017)

Anabaena memiliki kemampuan mengikat ion logam yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, konsentrasi ion logam awal dan waktu kontak. Spesies dari Cyanobacteria memiliki kemampuan mengikat ion logam berbeda-beda menyesuaikan kondisi sekitar, terutama kadar pH. Untuk spesies *Nostoc* mampu menurunkan kadar logam secara efisien jika berada dalam rentang kadar pH 6,1-6,2, dengan waktu kejenuhan dalam penyisihan logam berada di rentang 5-6 jam (Al-Amin dkk., 2021). Pada spesies *Oscillatoria* dan *Nostoc* memiliki kemampuan menghilangkan warna dari limbah di suhu 29 °C dengan pH mendekati 7 (Ahmad, 2021).

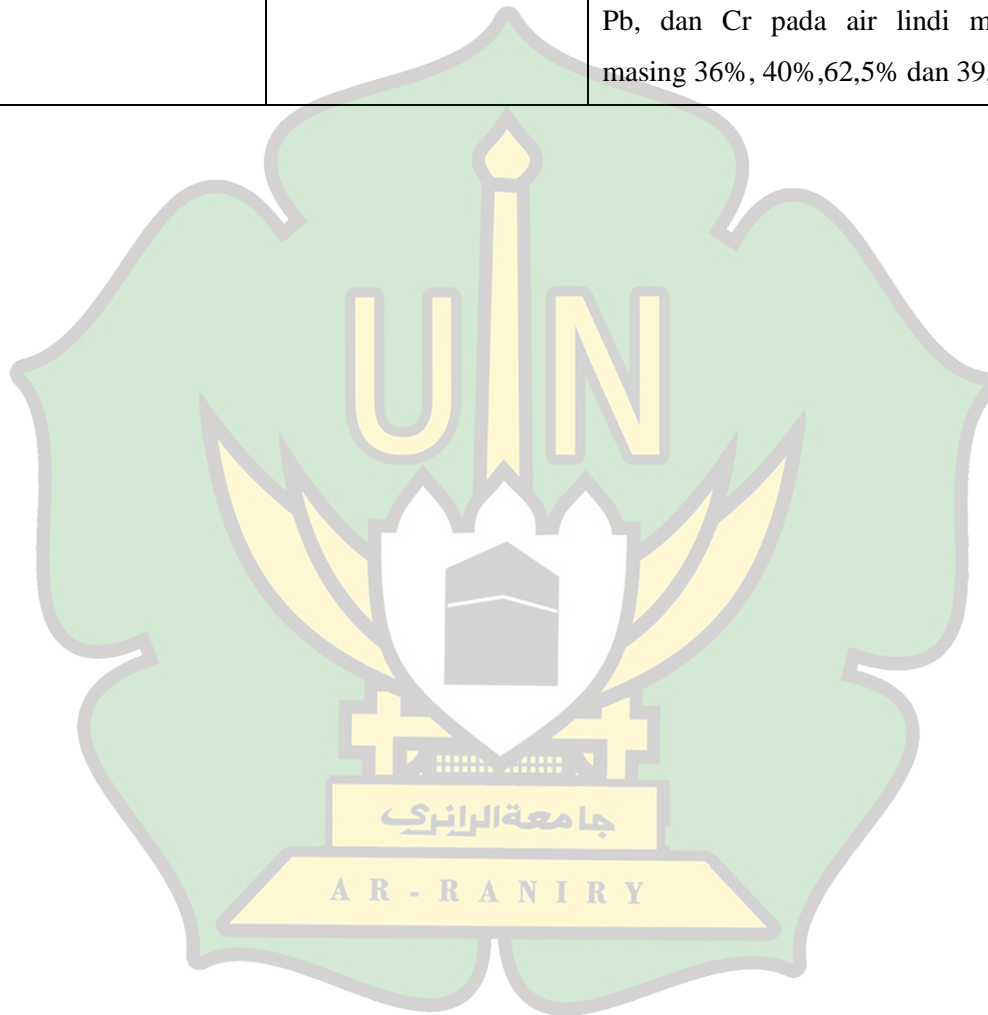
Faktor lain yang mempengaruhi kemampuan dari *Anabaena* dalam menyerap ion logam adalah penggunaan biomassa dan kontak waktu. *Anabaena* pada biomassa yang rendah maka efisiensi penyerapan logamnya juga rendah. *Anabaena* memiliki kondisi optimal dalam menghilangkan logam berat di kondisi suhu 30 °C dan pH 7 (Elkomy dan Rizk, 2019).

Tabel 2.2 Data Penelitian Terdahulu

Nama	Judul	Keterangan
Talukder dkk., 2015	<i>Phycoremediation Of Textile Industry Effluent By Cyanobacteria (Nostoc Muscorum and Anabaena Variabilis)</i>	Penggunaan Cyanobacteria jenis <i>Nostoc muscorum</i> dan <i>Anabaena variabilis</i> dalam mendegradasi logam berat Zn di air limbah industri tekstil memiliki efektifitas 45,71%
El-Hameed dkk., 2018	Comparative Studies On Growth And Pb(II) Removal From Aqueous Solution By <i>Nostoc muscorum</i> and <i>Anabaena variabilis</i>	Penggunaan Cyanobacteria jenis <i>Nostoc muscorum</i> dan <i>Anabaena variabilis</i> dalam penurunan kadar Pb (II) di air limbah industri dengan konsentrasi 0-50 mg/L selama 21 hari didapatkan bahwa penurunan dari <i>Nostoc muscorum</i> penurunan optimal pada konsentrasi 15 mg/L didapatkan hingga 97,8%. Untuk <i>Anabaena variabilis</i> pada konsentrasi yang sama di hari ke 16 sebesar 71,4%
Daud dkk., 2018	Potential of Duckweed (<i>Lemna minor</i>) for the <i>Phytoremediation</i> of Landfill Leachate	Penggunaan rumput bebek (<i>Lemna minor</i>) dalam menghilangkan logam berat Cu, COD, BOD, pH, dan TDS di air lindi masing-masing sebesar 91%, 39%, 47%, 13%, dan 33%.
El Bestawy, 2019	Efficiency Of Immobilized Cyanobacteria In Heavy Metals Removal From Industrial Effluents	Penggunaan isolat Cyanobacteria jenis <i>Anabaena variabilis</i> mampu mengurangi kadar Fe^{2+} , Zn , Pb^{2+} dan Cu masing-masing 94,45%, 98,98%, 93,33%, 93,33% pada air limbah industri.
Dubey dkk., 2019	<i>Bioremediation of Industrial Effluent using</i>	Penggunaan Cyanobacteria jenis <i>Anabaena aequalis</i>

	Cyanobacterial Species: <i>Phormidium mucicola</i> and <i>Anabaena aequalis</i>	mampu mengurangi BOD dan COD dari limbah sebesar 91,18% dan 82,45% pada limbah industri tekstil.
Aziz dkk., 2020	<i>Phytoremediation of TSS, NH₃-N and COD from Sewage Wastewater by Lemna minor L., Salvinia minima, Ipomea aquatica and Centella asiatica</i>	Penggunaan <i>Lemna minor</i> , <i>Salvinia minima</i> , <i>Ipomea aquatica</i> dan <i>Centella asiatica</i> dalam mengurangi TSS masing-masing 50.8%, 77.6%, 85.6% dan 67.6%, NH ₃ -N masing-masing 80.4%, 89.9, 97.3% dan 79.1% serta COD masing-masing 75%, 82%, 44.8% and 36.46% pada air limbah.
Usharani dkk., 2020	Combined Effect of Nitrate Bioremoval by Aquatic Free Floating Plant an Association with Filamentous Cyanobacteria	Penggunaan Cyanobacteria jenis <i>Oscillatoria</i> Sp dan rumput bebek (<i>Lemna minor</i>) dalam menghilangkan nitrat masing-masing sebesar 68% dan 60%
Abadi dkk., 2021	Evaluation of <i>Lemna minor</i> and Cyanobacteria Effect In <i>Aerated And Non-Aerated Conditions On Biological Oxygen Demand (BOD), Dissolved Chemical Oxygen (COD), Total Coliform and Fecal Coliform of Municipal And Industrial Wastewater</i>	Penurunan kadar BOD pada limbah cair lebih efektif menggunakan <i>Lemna minor</i> dengan penurunan sebesar 81,6% dan COD pada air limbah industri terjadi penurunan dengan aerasi sebesar 76,2%
Torok dkk., 2020	Metal and Organic Pollutants Removal From Wastewater by	Kemampuan rumput bebek (<i>Lemna minor</i>) dalam mereduksi logam berat Pb pada air limbah mencapai efisiensi

	Local <i>Lemna minor</i> Genotype	hingga 65%.
Iqbal dkk., 2022	Heavy Metals Removal From Dumpsite Leachate by Algae and Cyanobacteria	Penggabungan jenis Cyanobacteria jenis <i>Nostoc</i> dan <i>Anabaena</i> dengan ganggang hijau jenis <i>ankistrodesmus</i> dalam mengurangi logam berat Fe, Cu, Pb, dan Cr pada air lindi masing-masing 36%, 40%, 62,5% dan 39,9%,



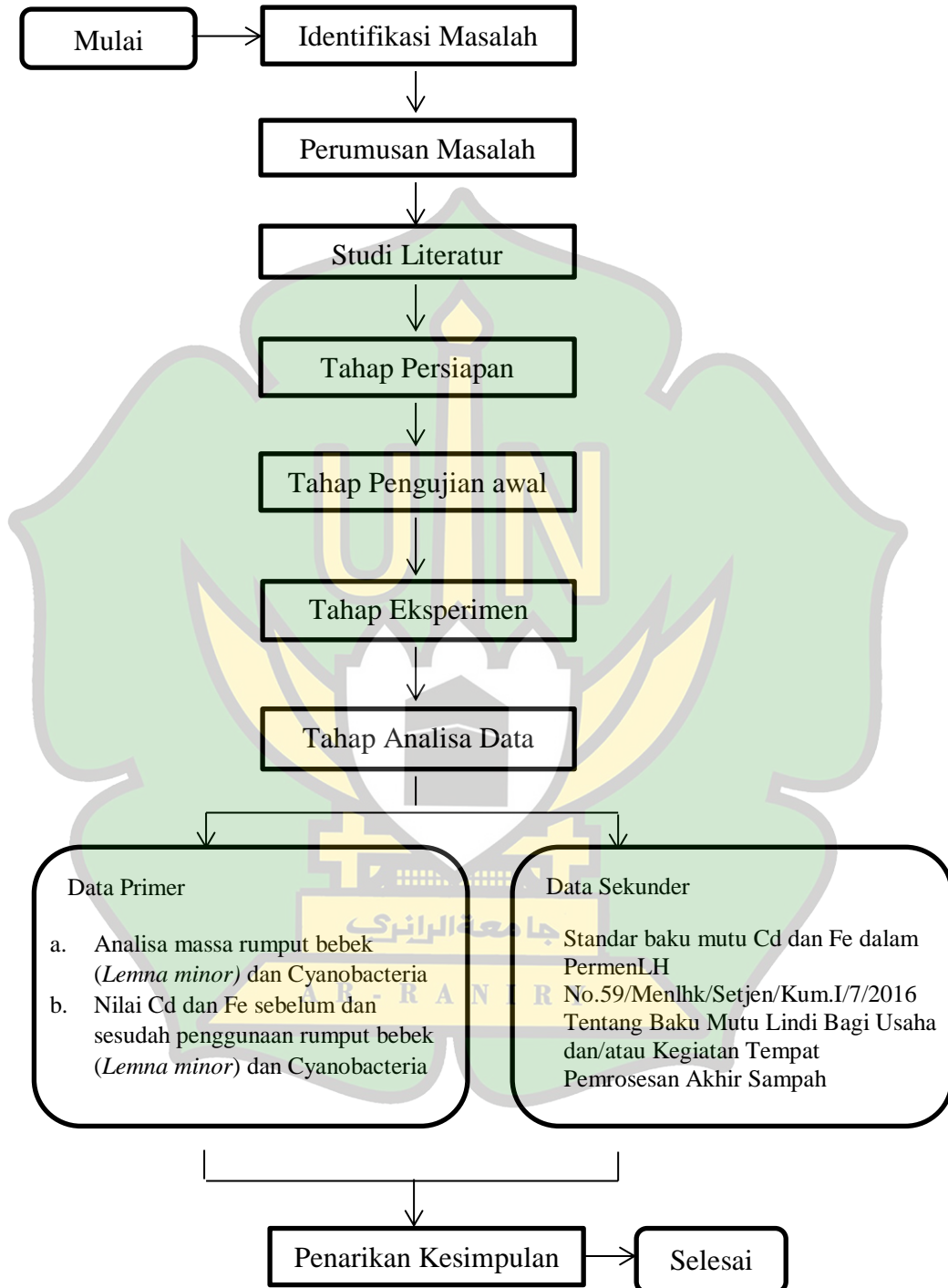
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

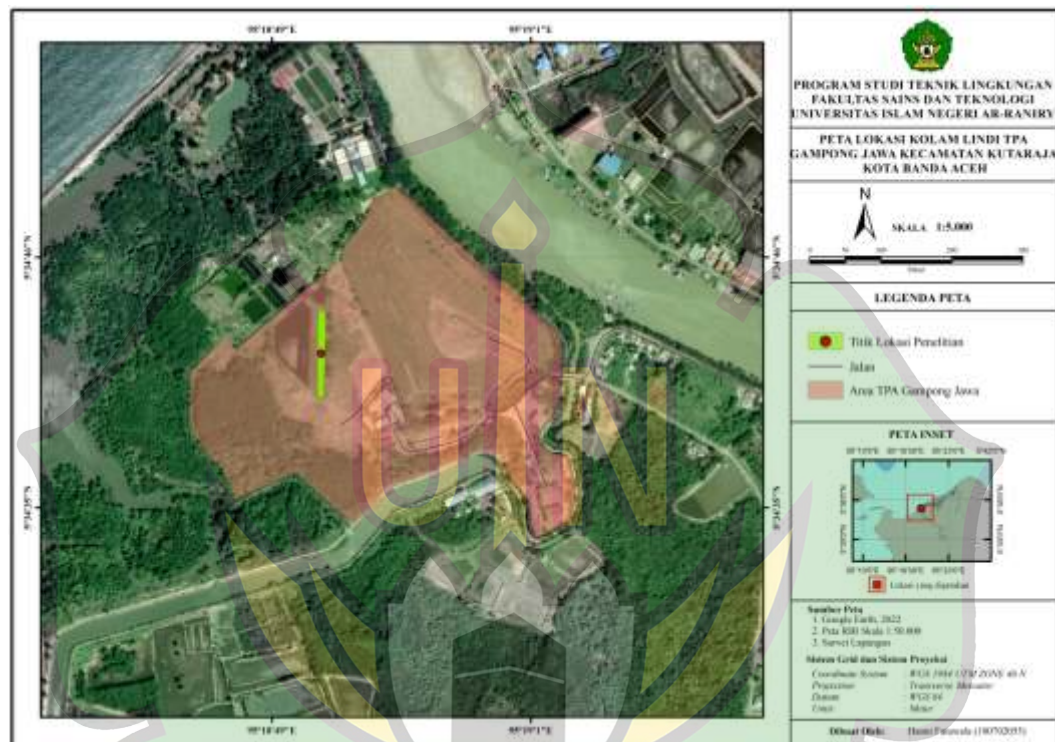
Rancangan penelitian pada penelitian ini dibagi ke dalam beberapa tahapan diantaranya adalah :

1. Tahap identifikasi masalah, merupakan tahapan awal ketika meneliti sebuah masalah.
2. Tahap perumusan masalah, merupakan tahapan guna menyusun beberapa pertanyaan yang akan dipecahkan.
3. Studi literatur, merupakan studi yang dilakukan untuk mengetahui informasi dan mengumpulkan data terkait dengan penelitian baik dari buku, jurnal, maupun skripsi.
4. Tahap persiapan, merupakan tahap persiapan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian dengan tujuan agar waktu dan pekerjaan yang dilakukan bisa efektif.
5. Tahap pengujian awal, merupakan tahapan pertama untuk mengetahui kondisi air lindi dengan parameter Cd dan Fe, sehingga bisa ditemukan penurunan kadar Cd dan Fe yang sesuai.
6. Tahap eksperimen merupakan tahap untuk mengetahui pengaruh kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) dan besi (Fe) serta membandingkan karakteristik lindi sebelum dan sesudah penggunaan kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena*.
7. Tahap analisa data, tahap ini dilakukan apabila sampel air lindi yang telah diuji dengan kombinasi antara rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* sehingga parameter hasil menjadi informasi dan dipergunakan untuk menarik kesimpulan.
8. Tahap penarikan kesimpulan, menjawab pertanyaan yang timbul dari rumusan masalah mengenai keefektifitasan penggabungan rumput bebek (*Lemna minor*) dengan *Anabaena* dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) dan besi (Fe) pada air lindi.

Tahapan dalam penelitian



Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan di TPA Gampong Jawa pada kolam lindi 1 dengan titik koordinat 5.578905272879473,95.31578251825877 (Georeferensi: 534°42.7"N95°18'56.9"E). Peta lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Peta Titik Pengambilan Sampel Penelitian

3.3. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini merupakan air lindi yang berasal dari kolam lindi 1 yang berada di TPA Gampong Jawa, Kota Banda Aceh. Sedangkan sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa air lindi yang berasal dari kolam 1 TPA Gampong Jawa sebanyak 1 liter yang diambil menggunakan teknik *grab sampling*.

3.4. Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Alat yang digunakan dalam penelitian

Nama Alat	Jumlah	Merek
Timbangan	1	-
<i>Centrifuge</i> 4500 rpm	1	Wifug
Erlenmeyer	125 ml	Pyrex
Gelas kimia	150 ml	Pyrex
<i>Tissue Oil absorb</i>	1	Paseo
Tissue	1	Nice
Bunsen	1	-
Reaktor	1	-

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.2 dibawah ini

Tabel 3.3 Bahan yang digunakan selama penelitian

Nama Bahan	Jumlah	Satuan
Air lindi	1	liter
Rumput bebek	2	Kg
Media BG-11 ₀	1	liter

3.5. Variasi waktu yang digunakan

Penggunaan waktu dalam penelitian ini selama 6 hari dengan variasi waktu 0, 2, 4, 6 hari (Imron et al., 2021)

3.6. Prosedur Eksperimen

3.6.1. Pengambilan Sampel Air Lindi

Pengambilan sampel air lindi yang akan digunakan dalam penelitian dilakukan dengan pengambilan sesaat atau *grab sampling* menyesuaikan dengan SNI 6898.59:2008 yang dilakukan dengan tahapan:

- a. Sampel lindi diambil pada hari Kamis 9 Juni 2022 di TPA Gampong Jawa antara pukul 10.00 WIB – 11.00 WIB
- b. Sampel yang diambil sebanyak 1 liter dengan ember plastik yang dimasukkan ke dalam jerigen 5 liter.

3.6.2. Persiapan Tanaman Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria

a. Persiapan tanaman rumput bebek (*Lemna minor*)

Tanaman rumput bebek (*Lemna minor*) dikumpulkan dari budidaya rumput bebek (*Lemna minor*) di Ajuen, Aceh Besar. Persiapan tanaman rumput bebek akan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Multifungsi, UIN Ar-Raniry. Tanaman dicuci menggunakan air suling lalu diletakkan diatas tissue serap minyak dan dibiarkan selama 5 menit sebelum ditimbang. Tanaman rumput bebek (*Lemna minor*) diambil dan ditimbang sebanyak 0,58 gr (Usharani dkk., 2020)

b. Peremajaan Cyanobacteria

Cyanobacteria yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan isolat *Anabaena* yang memiliki ciri-ciri tersusun atas sel-sel yang berbentuk bola berwarna hijau muda transparan, filamen berkoloni serta memiliki heterokista. Cyanobacteria ini didapatkan dari koleksi Laboratorium Teknik Lingkungan dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknologi dengan pertumbuhan terang 16 jam dan 8 jam gelap. Peremajaan dari Cyanobacteria dilakukan pada media cair BG-11₀ dengan cara diambil isolat Cyanobacteria dan ditambahkan media BG-11₀ 50 ml dengan masa inkubasi selama 7 hari dengan suhu 20-30 °C (Keshari dkk., 2021)

c. Pembuatan biomassa dari kultur *Anabaena*

Pembuatan biomassa dari kultur *Anabaena* dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Syiah Kuala dengan cara (Iqbal dkk., 2022):

1. Dipindahkan kultur *Anabaena* kedalam media BG-11₀ 50 ml.
2. Disentrifus kultur *Anabaena* menggunakan *centrifudge* 4500 rpm selama 30 menit.
3. Diambil pelat dari hasil sentrifugasi pada bagian bawah tabung sentrifus dengan cara dekantasi
4. Dimasukkan pelat kedalam gelas ukur dan ditimbang 0,8 gr.

3.6.3. Uji Kemampuan Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam Mendegradasi Cd dan Fe

Pengujian kemampuan rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam pendegradasian kadar logam berat Cd dan Fe dapat dilakukan dengan:

- a. Dimasukkan air lindi kedalam gelas kimia 100 ml.
- b. Ditambahkan biomassa rumput bebek (*Lemna minor*) yang telah ditimbang sebanyak 0,58 gr (Usharani dkk., 2020)
- c. Ditambahkan pelat kultur *Anabaena* yang telah ditimbang 0,8 gr (Iqbal dkk., 2022)
- d. Air lindi yang telah ditambahkan rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria pada 2,4,6 hari dan unit kontrol diambil sebanyak 3 ml untuk diperiksa residu logam berat menggunakan AAS di Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan, Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala

3.7. Analisis Data

Dalam menghitung efektivitas kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam mengurangi logam berat dapat menggunakan persamaan (Verdian, 2015), yaitu:

$$H = C_0 - C_s$$

$$F = (H/C_0) \times 100\%$$

dengan H adalah Konsentrasi kadmium (Cd) dan besi (Fe) yang diremediasi oleh rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria, C_0 adalah konsentrasi awal kadmium (Cd) dan besi (Fe), C_s adalah konsentrasi akhir Cd dan Fe pada medium yang telah dipisahkan dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dan F adalah efisiensi dari medium tanaman dan isolat yang telah dipisahkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Karakteristik Rumpuk Bebek (*Lemna minor*)–*Anabaena* dan Air Lindi Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe













Penggunaan isolat Cyanobacteria yang digunakan pada penelitian bergenus *Anabaena* yang memiliki warna hijau transparan yang dilihat secara makroskopis sedangkan secara mikroskopis genus *Anabaena* memiliki heterokista. Peremajaan dari isolat Cyanobacteria dilakukan selama 7 hari dengan suhu 20-30 °C yang tersaji pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 (a) *Anabaena* secara mikroskopis (b) *Anabaena* secara makroskopis

Penelitian menggunakan rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* pada air lindi guna menurunkan kadar logam berat kadmium (Cd) dan Besi (Fe) yang dilakukan selama 6 hari di Laboratorium Teknik Lingkungan. Dalam rentang waktu 6 hari terjadi perubahan secara signifikan yang terjadi pada rumput bebek (*Lemna minor*), *Anabaena* dan air lindi yang tersajikan pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Perubahan Secara Fisik yang terjadi selama penelitian

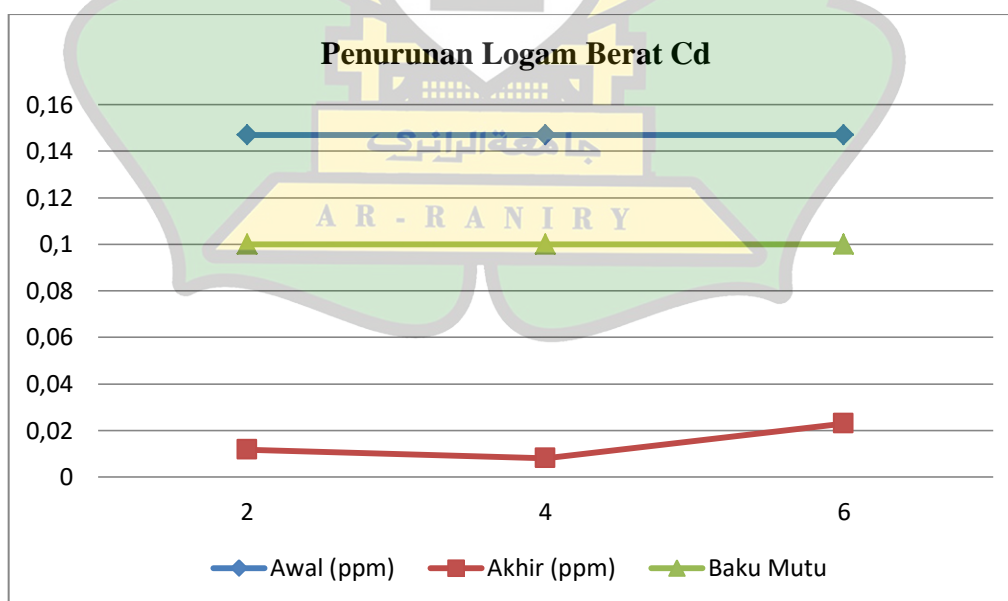
Waktu (hari)	Air Lindi	Rumput bebek (<i>Lemna minor</i>)	<i>Anabaena</i>
Awal	 Berwarna hitam gelap dan berbau tidak sedap	 Berwarna hijau terang	 Berwarna hijau
Ke-2	 Berwarna coklat terang dan tidak berbau	 Berwarna hijau-putih	 Berwarna hitam transparan
Ke-4	 Berwarna coklat gelap dan berbau tidak sedap	 Berwarna putih	 Berwarna hitam gelap dan menempel pada akar rumput bebek (<i>Lemna minor</i>)
Ke-6	 Berwarna hitam gelap dan berbau tidak sedap	 Berwarna putih	 Berwarna hitam gelap dan menempel pada akar rumput bebek (<i>Lemna minor</i>)

4.1.2. Efektivitas Rumput Bebek (*Lemna minor*)– *Anabaena* Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe di Air Lindi TPA Gampong Jawa

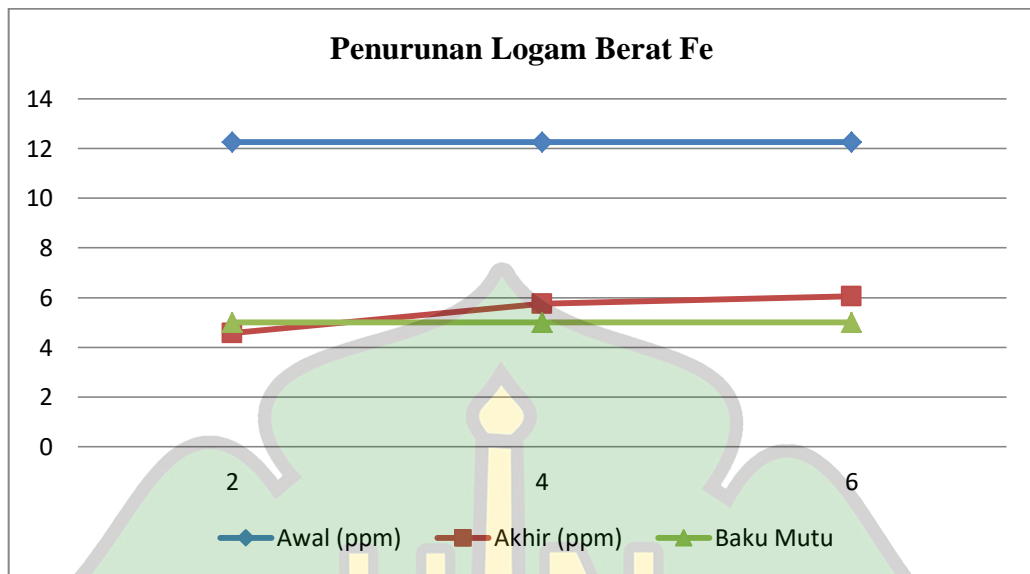
Untuk hasil uji dari kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria genus *Anabaena* pada air lindi terhadap logam berat kadmium (Cd) terjadi penurunan dengan persentase tertinggi hingga 94,55% di hari ke-4. Untuk hari ke-6 hanya terjadi penurunan sebesar 84,35%. Sedangkan pada logam berat besi (Fe) terjadi penurunan dengan persentase tertinggi di hari ke-2 dengan 62,58% sedangkan pada hari ke-6 hanya terjadi penurunan logam berat sebesar 50,55%. Hasil uji efektivitas dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan persentase penurunan disajikan pada Gambar 4.4.

Tabel 4. 2 Nilai uji efektivitas penurunan logam berat Cd dan Fe pada air lindi

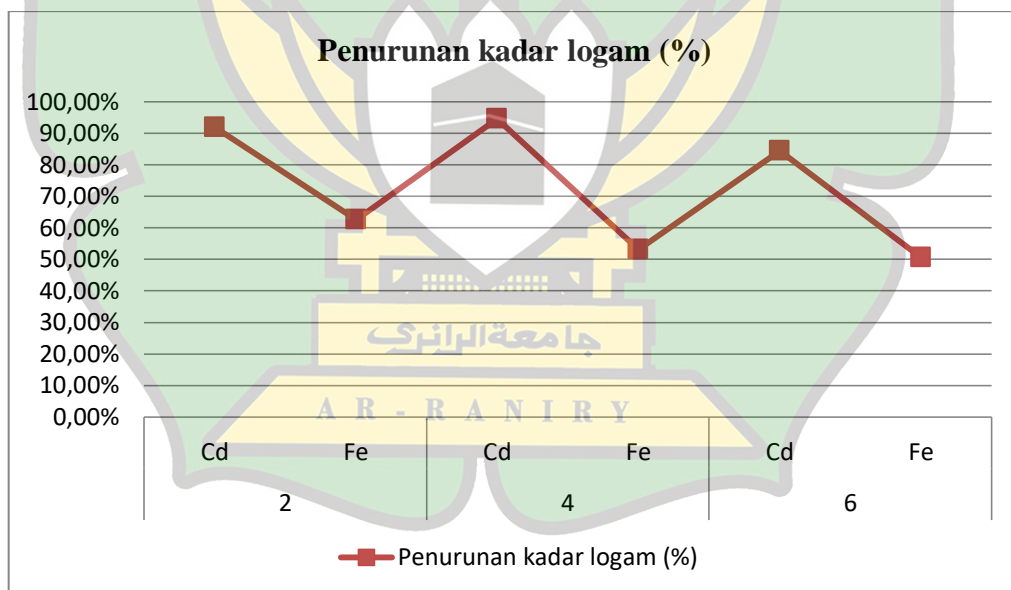
Waktu (hari)	Logam berat	Awal (ppm)	Akhir (ppm)	Total penurunan (ppm)	Penurunan kadar logam (%)
2	Cd	0,147	0,0117	0,135	91,83%
	Fe	12,256	4,585	7,671	62,58%
4	Cd	0,147	0,008	0,139	94,55%
	Fe	12,256	5,755	6,501	53,04%
6	Cd	0,147	0,023	0,124	84,35%
	Fe	12,256	6,060	6,196	50,55%



Gambar 4. 2 Grafik penurunan logam berat Cd dengan kombinasi Rumput Bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena*



Gambar 4. 3 Grafik penurunan logam berat Fe dengan kombinasi Rumpuk Bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena*



Gambar 4. 4 Grafik persentase penurunan logam berat Cd dan Fe dengan kombinasi Rumpuk Bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena*

4.2. Pembahasan

4.2.1. Karakteristik Rumput Bebek–*Anabaena* dan Air Lindi Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe

Pada penelitian ini menggunakan rumput bebek (*Lemna minor*) yang telah melalui proses aklimatisasi menggunakan air sumur selama 2 hari. Proses aklimatisasi merujuk pada penelitian Aulia (2020) yang melakukan aklimatisasi selama 2 hari pada tanaman air yang ingin digunakan untuk penelitian dengan tujuan agar tumbuhan air yang akan digunakan untuk penelitian mampu bertahan hidup pada lingkungan baru. *Anabaena* yang digunakan memiliki spesifikasi berfilamen heterokista yang diremajakan menggunakan media selektif BG-11₀. Menurut El-Aal (2022), *Anabaena* memiliki ciri khusus dengan sel heterokista dan menggunakan media selektif dalam meremajakan yaitu media BG-11₀.

Rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* yang telah digabungkan dalam air lindi mengalami perubahan fisik yang tersaji pada Tabel 4.1. Perubahan yang terjadi yaitu pada rumput bebek (*Lemna minor*) perubahan warna terjadi pada hari ke-2 yaitu warna daun yang semula memiliki warna hijau cerah mulai berubah menjadi hijau putih pada 1-2 lembar daunnya, dan pada hari ke-4 dan ke-6 rumput bebek (*Lemna minor*) mengalami perubahan warna menjadi putih pada seluruh helai daunnya. Sedangkan pada Cyanobacteria dengan genus *Anabaena* mengalami perubahan fisik yaitu pada awal penelitian warna yang dimiliki adalah hijau transparan namun pada hari ke-2 menjadi hitam transparan dan pada hari ke-4 *Anabaena* berubah menjadi hitam gelap namun transparan serta posisi *Anabaena* sudah menempel pada akar rumput bebek (*Lemna minor*). Pada hari ke-6 *Anabaena* memiliki perubahan warna menjadi hitam gelap.

Al-Nabhan (2022), mengatakan bahwa akumulasi logam berat membatasi produksi klorofil dengan cara mengganggu asupan komponen utama untuk pigmen fotosintesis. Menurut Iqbal dkk (2019), perubahan warna pada daun rumput bebek (*Lemna minor*) dikarenakan nitrogen yang menjadi zat pembentukan klorofil diserap oleh *Anabaena* untuk bertahan hidup. Asimilasi nitrogen oleh daun dan akar rumput bebek (*Lemna minor*) menjadi mekanisme utama fiksasi nitrogen pada tanaman. Namun, nitrat dan amonium yang

merupakan bentuk utama nitrogen yang digunakan oleh rumput bebek (*Lemna minor*) sebagai bagian dari molekul klorofil yang memberikan warna hijau pada tumbuhan diserap oleh *Anabaena* melalui akar dari rumput bebek (*Lemna minor*). Menurut El-Hameed dkk (2021), Kondisi *Anabaena* yang menempel pada rumput bebek (*Lemna minor*) terjadi dikarenakan air lindi yang mengandung Cd menyebabkan berkurangnya kadar klorofil pada *Anabaena* sehingga untuk tetap mendapatkan klorofilnya *Anabaena* menggunakan rumput bebek (*Lemna minor*) sebagai inangnya. Menurut Hu (2021), penyebab lain dari *Anabaena* menggunakan rumput bebek (*Lemna minor*) sebagai inangnya dikarenakan warna lindi yang cenderung gelap menghambat pertumbuhan dari *Anabaena*. Sehingga perubahan yang terjadi dari segi warna pada rumput bebek (*Lemna minor*) diakibatkan dari kebutuhan dari *Anabaena* yang memerlukan klorofil sehingga menggunakan rumput bebek (*Lemna minor*) sebagai inangnya dan juga hal ini terjadi dikarenakan rumput bebek (*Lemna minor*) proses akumulasi yang dilakukan oleh rumput bebek (*Lemna minor*).

Pengolahan terhadap air lindi di TPA dapat mengurangi konsentrasi senyawa penghambat toksik dan warna secara signifikan. Air lindi TPA memiliki karakteristik seperti memiliki bau yang tidak sedap, berwarna coklat tua atau bahkan hitam. Warna coklat tua atau hitam pada lindi diakibatkan dari tingginya konsentrasi zat humat (Nair dkk., 2019). Pada penelitian ini air lindi yang berasal dari TPA Gampong Jawa memiliki warna hitam dengan bau yang tak sedap. Menurut, (Genethliou dkk., 2022), Warna lindi yang cenderung berwarna coklat tua atau bahkan hitam disebabkan oleh oksidasi Fe(II) dan pembentukan koloid besi hidroksida dan kompleks dengan zat fulvat/humat. Selain berwarna gelap, lindi memiliki bau yang cenderung menyengat yang disebabkan nitrogen anorganik dengan konsentrasi yang tinggi terutama dalam bentuk amonia (Pan dkk., 2021). Pada saat penelitian berlangsung, warna serta bau yang ada pada air lindi mengalami perubahan. Pada hari ke-2 air lindi mengalami perubahan warna menjadi coklat tua transparan serta bau tak sedap dari air lindi menghilang, sedangkan pada hari ke-4 dan ke-6 air lindi mulai kian menggelap di setiap harinya hingga mencapai di warna hitam gelap dan bau tak sedap timbul kembali.

Menurut (Noel & Rajan, 2014), penggunaan *Anabaena* dalam pengelolaan air limbah sering digunakan dikarenakan *Anabaena* memiliki potensi dalam menghilangkan warna secara maksimum. Warna yang coklat tua atau bahkan hitam mampu dihilangkan menggunakan *Anabaena* dikarenakan *Anabaena* memiliki kemampuan untuk mengurangi pewarna azo melalui reduktase sitoplasma terlarut yang dikenal sebagai azoreduktase. Enzim ini mengubah pewarna azo menjadi amina aromatik maka perubahan warna pada air limbah terjadi.

4.2.2. Efektivitas Rumput Bebek (*Lemna minor*)– *Anabaena* Pada Pengujian Pengurangan Kadar Cd dan Fe di Air Lindi TPA Gampong Jawa

Dalam penelitian sebelumnya penggunaan kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* belum pernah dilakukan. Namun untuk penggunaan masing-masing dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* telah dilakukan dan disimpulkan memiliki potensi dalam mengurangi kandungan logam berat. Rumput bebek (*Lemna minor*) mampu mengurangi kadar Pb hingga 62,3% (Ubuza dkk., 2020). Sedangkan penggunaan *Anabaena* dalam mengurangi logam berat telah dibuktikan dalam menurunkan kadar Fe, Cu, Pb, Cr serta Zn dengan metode biosorpsi yang memiliki efektivitas masing-masing sebesar 36%,40%,62,5% dan 39,9% (Iqbal dkk., 2019) dan penggunaan *Anabaena* dalam limbah artifisial yang tercemar logam berat Cu dapat diturunkan hingga 99% (Khalila, 2023)

Penelitian ini dilakukan dengan cara menggabungkan dua metode yaitu fitoremediasi dan bioremediasi. Menurut Abdolali dkk (2017), metode bioremediasi menggunakan teknik biosorpsi dan bioakumulasi menggunakan alga serta organisme sejenisnya yang sudah mulai diteliti dari tahun 1970. Ceschin dkk., (2020) mengatakan bahwasannya fitoremediasi menggunakan tanaman hiperakumulator telah menjanjikan mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah tinggi dan Rumput Bebek (*Lemna minor*) termasuk kedalam tanaman hiperakumulator. Tanaman rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki akar semi dalam menunjukkan kemampuannya untuk menyerap logam (Al-Nabhan, 2022)

Berdasarkan Gambar 4.2, persentase penurunan dari logam berat menggunakan kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan *Anabaena* pada air lindi terhadap logam berat kadmium (Cd) terjadi penurunan dengan persentase tertinggi hingga 94,55% di hari ke-4. Untuk hari ke-6 hanya terjadi penurunan sebesar 84,35%. Sedangkan pada logam berat besi (Fe) terjadi penurunan dengan persentase tertinggi di hari ke-2 dengan 62,58% sedangkan pada hari ke-6 hanya terjadi penurunan logam berat sebesar 50,55%. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ozyigit dkk (2021) yaitu akumulasi Cd pada rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki efektivitas yang tinggi pada hari ke-4 percobaan dikarenakan rumput bebek (*Lemna minor*) memiliki potensi untuk menurunkan kadar Cd di perairan yang tercemar karena kemampuan akumulasinya yang tinggi, polimorfisme yang rendah dan tingkat GTS yang tinggi serta menunjukkan kemampuan yang tinggi untuk mengakumulasi Cd dalam jumlah yang besar. Sedangkan Sasmaz dkk (2019) mendeteksi bahwa rumput bebek (*Lemna minor*) mengakumulasi penyisihan Cd maksimum pada pH 6 dan suhu 25°C dalam sistem pengolahan serta menunjukkan faktor biokonsentrasi maksimum pada suhu 35°C dan lebih menguntungkan di daerah tropis.

Penurunan kadar besi (Fe) yang dilakukan dengan menggabungkan rumput bebek (*Lemna minor*) dikatakan efektif dikarenakan dalam masa hidupnya Cyanobacteria memerlukan Fe untuk penyediaan fotosintesis. Menurut Sadvakasova dkk (2022), Besi memainkan peran yang sama pentingnya dalam proses fiksasi nitrogen. Kebutuhan Fe dalam proses reduksi nitrogen terkait dengan fakta bahwa proses ini membutuhkan Fe baik dalam enzim maupun untuk penyediaan energi restoratif fotosintesis atau respirasi yang dimediasi oleh ferredoksin. Keterbatasan zat besi dapat mengurangi kadar nitrat reduktase pada Cyanobacteria.

Efisiensi dalam adsorpsi logam berat mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu durasi (Ali dkk., 2018). Pada penelitian ini pengurangan konsentrasi logam dan efisiensi penyisihan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan persentase efektivitas pada hari akhir pada setiap logam beratnya, selain dikarenakan terjadinya penurunan kemampuan

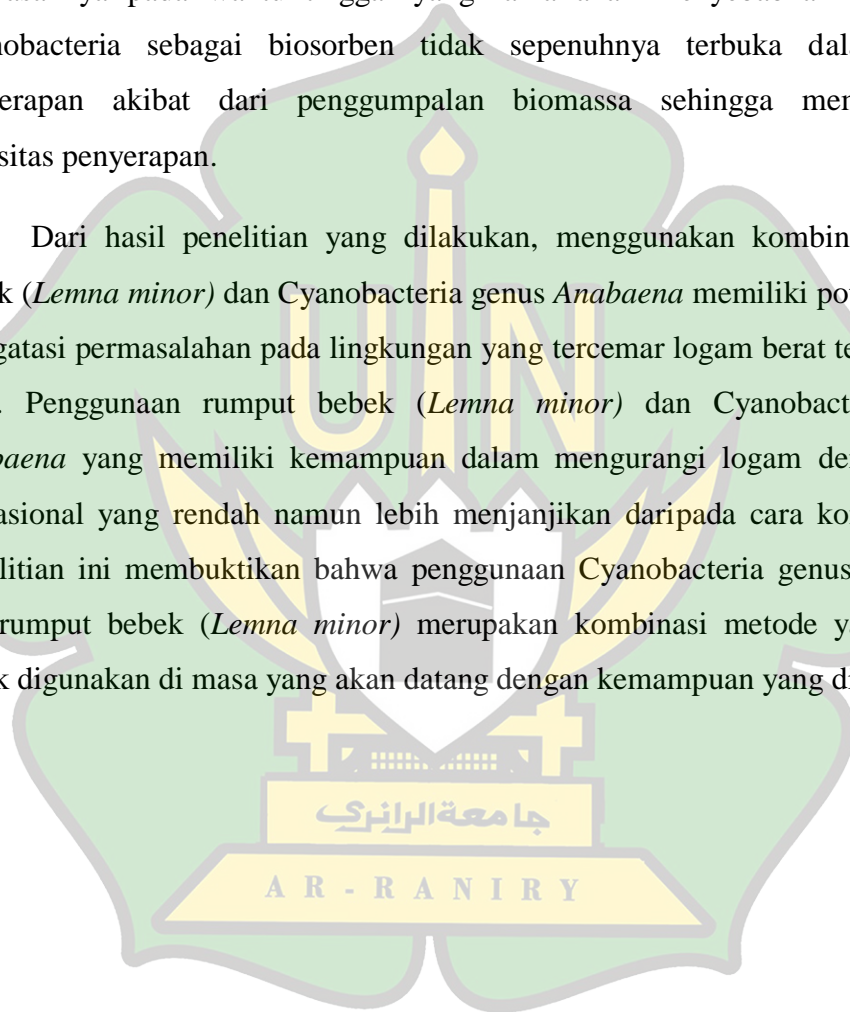
dalam menurunkan kadar logam berat, kondisi ini terjadi dikarenakan terjadinya penggumpalan biomassa pada saat tanaman rumput bebek (*Lemna minor*) sedang bekerja. Pada Tabel 4.2 juga tertera bahwasannya efisiensi tanaman untuk menghilangkan logam konsentrasi rendah lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi tinggi.

Hasil dari penelitian penelitian ini dapat dikaitkan dengan efek toksisitas yang lebih kecil terhadap pertumbuhan tanaman sedangkan konsentrasi Fe yang tinggi menghambat berat segar dan pertumbuhan relatif yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan tanaman untuk menyerap logam berat didalam air lindi. (Al-Nabhan, 2022) melakukan penelitian yang menyelidiki kemampuan *Lemna minor* untuk menghilangkan Timbal (Pb), kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) dari larutan berair pada konsentrasi rendah, sedangkan konsentrasi tinggi menghambat pertumbuhan tanaman yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan dalam penyerapan logam berat oleh tanaman sehingga mengurangi efisiensi dalam penyisihan. Menurutnya konsentrasi logam yang tinggi dapat menyebabkan keracunan dan kejenuhan logam pada tanaman serta penurunan indeks mitosis yang dilaporkan pada paparan logam berat dapat dikaitkan dengan penghambatan pertumbuhan, yang mengakibatkan hilangnya kemampuannya untuk menyerap logam dan akumulasi di dalam jaringan tanaman terutama di vakuola.

Efektivitas kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria genus *Anabaena* terkait pengaruh waktu kontak terhadap logam tersaji pada Tabel. 4.2. Untuk logam berat Fe membutuhkan waktu 2 hari untuk mencapai persentase penurunan yang tinggi sedangkan untuk Cd membutuhkan waktu 4 hari untuk mencapai persentase penurunan tertinggi. Pernyataan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dkk (2022) bahwa tingkat penyisihan logam terkhususnya Fe yang dilakukan oleh Cyanobacteria dengan genus *Anabaena* lebih cepat selama dua hari pertama dan sebagian besar penyisihan ion logam berat terjadi selama periode ini. Peristiwa ini terjadi karena penyisihan logam dari lindi merupakan hasil dari proses biosorpsi dan bioakumulasi dari Cyanobacteria. Tampaknya pada awalnya proses biosorpsi

lebih dominan dalam menghilangkan sebagian besar ion logam dalam dua hari pertama percobaan dan kemudian bioakumulasi bertanggung jawab atas penghilangan ion logam yang tersisa hingga mencapai kondisi kesetimbangan. Pengaruh waktu tinggal yang semakin lama menyebabkan penurunan efektivitas. Pada kondisi ini sejalan dengan penelitian Fanani dkk (2017), yang mengatakan bahwasannya pada waktu tinggal yang lama akan menyebabkan permukaan Cyanobacteria sebagai biosorben tidak sepenuhnya terbuka dalam proses penyerapan akibat dari penggumpalan biomassa sehingga mempengaruhi kapasitas penyerapan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, menggunakan kombinasi rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria genus *Anabaena* memiliki potensi dalam mengatasi permasalahan pada lingkungan yang tercemar logam berat termasuk air lindi. Penggunaan rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria genus *Anabaena* yang memiliki kemampuan dalam mengurangi logam dengan biaya operasional yang rendah namun lebih menjanjikan daripada cara konvensional. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan Cyanobacteria genus *Anabaena* dan rumput bebek (*Lemna minor*) merupakan kombinasi metode yang efektif untuk digunakan di masa yang akan datang dengan kemampuan yang dimilikinya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai uji efektivitas kombinasi dari rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria khususnya genus *Anabaena* terhadap air lindi pada TPA Gampong Jawa dapat disimpulkan bahwa:

1. Perubahan karakteristik fisik dari rumput bebek (*Lemna minor*) yang terjadi dalam rentang waktu kontak 2, 4 dan 6 hari terjadi perubahan secara signifikan dari segi warna, bau, dan kondisi fisik.
2. Penggunaan rumput bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria genus *Anabaena* dalam mengurangi logam berat pada air lindi di TPA Gampong Jawa dengan waktu kontak 2, 4 dan 6 hari terbukti efektif. Untuk logam berat kadmium (Cd) memiliki persentase tertinggi yang terjadi pada hari ke-4 yaitu 94,55% sedangkan logam berat besi (Fe) memiliki persentase efektif tertinggi terjadi pada hari ke-2 dengan 62,58%.

5.2. Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini, maka dari itu peneliti ingin memberikan saran untuk menjadi bahan evaluasi di penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Perlu dilakukan pengujian pH, BOD, COD, dan logam berat lainnya.
2. Perlu dilakukannya variasi biomassa, variasi suhu, variasi umur kultur serta variasi waktu kontak untuk melihat efektivitas dari rumput bebek (*Lemna minor*) Cyanobacteria genus *Anabaena* lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S. A. H., Najafi, P., Baharlouei, J., & Mohammadi Ghahsareh, 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*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1933463>
- Abbasi Hassan Abadi, S., Baharlouei, J., Najafi, P., & Mohammadi Ghahsareh, A. (2022). An assessment of the effect of *Lemna minor*, Cyanobacteria *Oscillatoria* Sp and aeration on the elimination of cadmium, nickel and zinc from urban and industrial wastewater. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 546–557. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1724983>
- Abdilah, F., & Troskialina, L. (2020). Application of Dry Biomass of *Aphanothece* sp. as A Biosorbent of Copper Heavy Metal. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 5(1), 29. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v5i1.7246>
- Abdolali, A., Ngo, H. H., Guo, W., Zhou, J. L., Zhang, J., Liang, S., Chang, S. W., Nguyen, D. D., & Liu, Y. (2017). Application of a breakthrough biosorbent for removing heavy metals from synthetic and real wastewaters in a lab-scale continuous fixed-bed column. *Bioresource Technology*, 229, 78–87.
- Ahmad, I. Z. (2021). The usage of Cyanobacteria in wastewater treatment: prospects and limitations. *Letters in Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/lam.13587>
- Al-Amin, A., Parvin, F., Chakraborty, J., & Kim, Y. I. (2021). Cyanobacteria mediated heavy metal removal: a review on mechanism, biosynthesis, and removal capability. *Environmental Technology Reviews*, 10(1), 44–57. <https://doi.org/10.1080/21622515.2020.1869323>
- Al-Nabhan, E. A. M. (2022). Removal Efficiency, Accumulation and Biochemical

Response of *Lemna minor* L. Exposed to Some Heavy Metals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1060(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012037>

Al-Wabel, M. I., Yehya, W. S. Al, A.S, A., & S.E, E.-M. (2011). Characteristics of landfill leachates and bio-solids of municipal solid waste (MSW) in Riyadh City, Saudi Arabia. *J. Saudi Soc. Agric. Sci*, 65–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.03.009>.

Ali, M., Elkarim, M., Haroun, S., & Attwa, K. (2018). Bioremediation of Fe, Zn and Cd ions from aqueous solution using died cells of cyanobacterial mats from extreme habitat, Siwa Oasis, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 22(5), 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.11.012>

Alisa, C. A. G., Albirqi P, M. S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1), 21. <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i1.26523>

Amare, E., Kebede, F., & Mulat, W. (2018). Wastewater treatment by *Lemna minor* and *Azolla filiculoides* in tropical semi-arid regions of Ethiopia. *Ecological Engineering*, 120(July), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.005>

Aulia, M. (2020). *Fitoremediasi Logam Berat Pb dan Fe pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menggunakan hydrilla verticillata dari danau Ranu Grati Pasuruan*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Aziz, N. I. H. A., Hanafiah, M. M., Halim, N. H., & Fidri, P. A. S. (2020). Phytoremediation of TSS, NH₃-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 Standar Nasional. (2008). SNI 6898.59:2008 tentang Pengambilan Sampel Air Limbah

Bilal, M., Rasheed, T., Sosa-Hernández, J. E., Raza, A., Nabeel, F., & Iqbal, H.

- M. N. (2018). Biosorption: An interplay between marine algae and potentially toxic elements—A review. *Marine Drugs*, *16*(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/md16020065>
- Bon, I. C., Salvatierra, L. M., Lario, L. D., Morató, J., & Pérez, L. M. (2021). Prospects in cadmium-contaminated water management using free-living cyanobacteria (*Oscillatoria* sp.). *Water (Switzerland)*, *13*(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w13040542>
- Ceschin, S., Crescenzi, M., & 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>
- Conklin, K. Y., Stancheva, R., Otten, T. G., Fadness, R., Boyer, G. L., Read, B., Zhang, X., & Sheath, R. G. (2020). Molecular and morphological characterization of a novel dihydroanatoxin-a producing *Microcoleus* species (cyanobacteria) from the Russian River, California, USA. *Harmful Algae*, *93*(July 2019), 101767. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101767>
- Darnas, Y., Anas, A. A., & Hasibuan, M. A. (2020). Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur. *Serambi Engineering*, *3*, 1165–1176.
- Daud, M. ., Ali, S., Abbas, Z., Zaheer, I. ., Riaz, M. ., Malik, A., Hussain, A., & Zia-ur, R. (2018). Potential of duckweed (*Lemna minor*) for the phytoremediation of landfill leachate. *Journal Chem.*
- Dimas, A., T, I., & Swastika. (2017). Pemanfaatan Air Lindi TPA Jatibarang sebagai Media Alternatif Kultivasi Mikroalga untuk Perolehan Lipid. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *6*(1), 1–15.
- Dogaris, I., Ammar, E., & Philippidis, G. P. (2020). Prospects of integrating algae technologies into landfill leachate treatment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *36*(3). <https://doi.org/10.1007/s11274-020-2810-y>
- Dubey, S. K., Vyas, P., Tiwari, P., Viswas, A. J., & Bajpai, S. P. (2019). Bioremediation of Industrial Effluent using Cyanobacterial Species: *Phormidium mucicola* and *Anabaena aequalis*. *Annual Research & Review in*

- Biology*, 31(1), 1–8. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v31i130037>
- Ekperusi, A. O., Sikoki, F. D., & 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>
- El-Aal, A. A. A. M. (2022). Chapter 1 - *Anabaena-azollae*, significance and agriculture application: A case study for symbiotic cyanobacterium. In R. Pratap Singh, G. Manchanda, K. Bhattacharjee, & H. Panosyan (Eds.), *Microbial Syntrophy-Mediated Eco-enterprising* (pp. 1–14). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99900-7.00006-7>
- El-Hameed, M. M. A., Abuarab, M. E., Abdel Mottaleb, S., El-Bahbohy, R. M., & Bakeer, G. A. (2018). Comparative studies on growth and Pb(II) removal from aqueous solution by *Nostoc muscorum* and *Anabaena variabilis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165(July), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.103>
- El-Hameed, M. M. A., Abuarab, M. E., Al-Ansari, N., Mottaleb, S. A., Bakeer, G. A., Gyasi-Agyei, Y., & Mokhtar, A. (2021). Phycoremediation of contaminated water by cadmium (Cd) using two cyanobacterial strains (*Trichormus variabilis* and *Nostoc muscorum*). *Environmental Sciences Europe*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00573-0>
- El Bestawy, E. (2019). Efficiency of immobilized cyanobacteria in heavy metals removal from industrial effluents. *Desalination and Water Treatment*, 159(January), 66–78. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23808>
- Elkomy, R. G., & Rizk, O. E. M. (2019). Bioremoval of Copper by Marine Blue Green Algae *Phormodium formosum* and *Oscillatoria simplicissima*. *Indian Journal of Science and Technology*, 12(01), 1–7. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i1/134088>
- Fadhilah, I., & Fitria, L. (2020). Analisis Kadar Kadmium dan Beberapa Parameter Kunci pada Air Lindi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang Tahun 2018 Abstrak. *Jurnal Nasional Kesehatan Lingkungan Global*, 1(1), 36–45.

- Fajariah, C. (2017). *Studi Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Dengan Teknik Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Air*.
- Fanani, A. S., Elistya, S., & Muria, S. R. (2017). Pemanfaatan Biomassa Alga Biru-Hijau *Anabaena cycadae* dalam Proses Biosorpsi Logam Cr pada Limbah Cair Industri Elektroplating. 2(1), 212–214. *Jom FTeknik*, 4(1), 1–7.
- Fitriawardhani, T. (2020). Pemberdayaan masyarakat kampung edukasi pengelolaan sampah rumah tangga. *Jurnal Abdi Bhayangkara UBHARA Surabaya*, 1, 97–102. <http://ejournal.lppm.ubhara.id>
- Genethliou, C., Lazaratou, C. V., Triantaphyllidou, I. E., Xanthaki, E., Mourgkogiannis, N., Sygellou, L., Tekerlekopoulou, A. G., Koutsoukos, P., & Vayenas, D. V. (2022). Adsorption studies using natural palygorskite for the treatment of real sanitary landfill leachate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108545. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108545>
- Hassan, G. K., Gad-Allah, T. A., Badawy, M. I., & El-Gohary, F. A. (2021). Remediation of ammonia-stripped sanitary landfill leachate by integrated heterogeneous Fenton process and aerobic biological methods. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 00(00), 1–14. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1969381>
- Hossain, M. F., Ratnayake, R. R., Mahbub, S., Kumara, K. L. W., & Magana-Arachchi, D. N. (2020). Identification And Culturing of Cyanobacteria Isolated From Freshwater Bodies of Sri Lanka for Biodiesel Production. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(6), 1514–1520. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.03.024>
- Imron, M. F., Ananta, A. R., Ramadhani, I. S., Kurniawan, S. B., & Abdullah, S. R. S. (2021). Potential of *Lemna minor* for removal of methylene blue in aqueous solution: Kinetics, adsorption mechanism, and degradation pathway. *Environmental Technology and Innovation*, 24(September). <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101921>
- Iqbal, J., Javed, A., & Baig, M. A. (2019). Growth and nutrient removal efficiency

of duckweed (*Lemna minor*) from synthetic and dumpsite leachate under artificial and natural conditions. *PLoS ONE*, 14(8), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221755>

Iqbal, J., Javed, A., & Baig, M. A. (2022a). Heavy metals removal from dumpsite leachate by algae and cyanobacteria. *Bioremediation Journal*, 26(1), 31–40. <https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1884530>

Iqbal, J., Javed, A., & Baig, M. A. (2022b). Heavy metals removal from dumpsite leachate by algae and cyanobacteria. *Bioremediation Journal*, 26(1), 31–40. <https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1884530>

Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kandungan Logam Berat pada Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kota Banda Aceh. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsyiah*, 3(1), 19–22. <http://jurnal.unsyiah.ac.id/SNP-Unsyiah/article/download/6858/5659>

Ismail, M. M. S., El, Y. M., Saad, A., & Hoda, A. A. (2022). Biosorption of uranium by immobilized *Nostoc* sp. and *Scenedesmus* sp.: kinetic and equilibrium modeling. *Environmental Science and Pollution Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21641-9>

Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., & Pugazhendhi, A. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. *Journal of Environmental Management*, 217, 56–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.077>

Johnson, I., Abubakar, M., Ali, S., & Kumar, M. (2019). Cyanobacteria/microalgae for distillery wastewater treatment- past, present and the future. In *Microbial Wastewater Treatment*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816809-7.00010-5>

Kamarati, K. F. A., Marlon, I. A., & M, S. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan Heavy Metal Content Iron (Fe), Lead (Pb) and Manganese (Mn) in The Water of The Santan River. *JURNAL Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 4, 50–56.

Keshari, N., Das, S. K., & Adhikary, S. P. (2021). Colonization and survival of a stress tolerant cyanobacterium on a heritage monument of Santiniketan,

- India. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 164(July), 105294. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105294>
- Khalila, A. (2023). *Uji Efektivitas Penggunaan Isolat Cyanobacteria dalam Remediasi Logam Berat Tembaga (Cu)*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Kumar, L., & Bharadvaja, N. (2020). Microbial remediation of heavy metals. In *Microbial Bioremediation & Biodegradation*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1812-6_2
- Liu, L., & Liao, W. (2021). Optimization and profit distribution in a two-echelon collaborative waste collection routing problem from economic and environmental perspective. *Waste Management*, 120(xxxx), 400–414. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.045>
- Luo, H., Zeng, Y., Cheng, Y., He, D., & Pan, X. (2020). Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. *Science of the Total Environment*, 703, 135468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135468>
- Manikandan, N. A., Pakshirajan, K., & Syiem, M. B. (2015). Cu(II) removal by biosorption using chemically modified biomass of *Nostoc muscorum* – A cyanobacterium isolated from a coal mining site. *International Journal of ChemTech Research*, 7(1), 80–92.
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., & Asakura, H. (2021). Treatment of landfill leachate with different techniques: An overview. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 11(1), 66–96. <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.079>
- Nair, A. T., Senthilnathan, J., & Nagendra, S. M. S. (2019). Application of the phycoremediation process for tertiary treatment of landfill leachate and carbon dioxide mitigation. *Journal of Water Process Engineering*, 28(January), 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.017>
- Noel, D., & Rajan, M. (2014). Cyanobacteria as a Potential Source of Phycoremediation from Textile Industry Effluent. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 05(07), 10–13. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000260>

- Nurhasanah, Prihadi, A. R., Djanis, R. L., Mellisani, B., & Maimulyanti, A. (2021). Biosorption of copper (II) ion from aqueous solution using algae biomass *oscillatoria* Sp. *Egyptian Journal of Chemistry*, *64*(10), 5437–5442. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.54959.3148>
- Ozyigit, I. I., Arda, L., Yalcin, B., Yalcin, I. E., Ucar, B., & Hocaoglu-Ozyigit, A. (2021). *Lemna minor*, a hyperaccumulator shows elevated levels of Cd accumulation and genomic template stability in binary application of Cd and Ni: a physiological and genetic approach. *International Journal of Phytoremediation*, *23*(12), 1255–1269. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1892586>
- Palaniswamy R, & Veluchamy C. (2017). Biosorption of Heavy Metals by *Spirulina platensis* from Electroplating Industrial Effluent. *Environ Sci Ind J*, *13*(4), 139. www.tsijournals.com
- Pan, S., Dixon, K. L., Nawaz, T., Rahman, A., & Selvaratnam, T. (2021). Evaluation of *Galdieria sulphuraria* for nitrogen removal and biomass production from raw landfill leachate. *Algal Research*, *54*(July 2020), 102183. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102183>
- Papadopoulos, K. P., Economou, C. N., Dailianis, S., Charalampous, N., Stefanidou, N., Moustaka-Gouni, M., Tekerlekopoulou, A. G., & Vayenas, D. V. (2020). Brewery wastewater treatment using cyanobacterial-bacterial settleable aggregates. *Algal Research*, *49*(April). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101957>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah
- Ramadan, K. M. A., El-Beltagi, H. S., Shanab, S. M. M., El-Fayoumy, E. A., Shalaby, E. A., & Bendary, E. S. A. (2021). Potential antioxidant and anticancer activities of secondary metabolites of *nostoc linckia* cultivated under zn and cu stress conditions. *Processes*, *9*(11). <https://doi.org/10.3390/pr9111972>

- Rompegading, A. B., Sartika, D., Sengka, R., Syamsuddin, N., Resky, A. W., Resky, M., Rahmat, M. F., Lestari, A., Rosdiana, Asriana, Fadryansah, M., Arifuddin, A., Afdal, M., & Irfandi, R. (2021). Pengujian Awal Potensi Tanaman Lidah Mertua (*sansevieria trifasciata*) dalam pemanfaatannya sebagai fitoremediasi terhadap tanah yang tercemar logam Cu. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(2), 251–257.
- Sadvakasova, A. K., Kossalbayev, B. D., Token, A. I., Bauenova, M. O., Wang, J., Zayadan, B. K., Balouch, H., Alwasel, S., Leong, Y. K., Chang, J. S., & Allakhverdiev, S. I. (2022). Influence of Mo and Fe on Photosynthetic and Nitrogenase Activities of Nitrogen-Fixing Cyanobacteria under Nitrogen Starvation. *Cells*, 11(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/cells11050904>
- Safari, M., & Ahmady-Asbchin, S. (2018). Biosorption of zinc from aqueous solution by cyanobacterium *Fischerella ambigua* ISC67: Optimization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Water Science and Technology*, 78(7), 1525–1534. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.437>
- Sari, E. K., & Lucyana, L. (2021). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Lindi Di Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Simpang Kandis Kabupaten Ogan Komering Ulu. *Jurnal Deformasi*, 6(1), 33. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v6i1.5510>
- Sarwono, E., W.A, A., & B. N; W. (2017). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD, COD, Dan TSS Pada Pengolahan Lindi TPA Bukit Pinang Samarinda Menggunakan Sistem Aerasi Bertingkat dan Sedimentasi. *Teknologi Lingkungan*, 1(2), 20–26.
- Sasmaz, M., Öbek, E., & Sasmaz, A. (2019). Bioaccumulation of cadmium and thallium in Pb-Zn tailing waste water by *Lemna minor* and *Lemna gibba*. *Applied Geochemistry*, 100(August 2018), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.011>
- Shen, L., Chen, R., Wang, J., Fan, L., Cui, L., Zhang, Y., Cheng, J., Wu, X., Li, J., & Zeng, W. (2021). Biosorption behavior and mechanism of cadmium from aqueous solutions by: *Synechocystis* sp. PCC6803. *RSC Advances*, 11(30), 18637–18650. <https://doi.org/10.1039/d1ra02366g>

- Smječanin, N., Bužo, D., Mašić, E., Nuhanović, M., Sulejmanović, J., Azhar, O., & Sher, F. (2022). Algae based green biocomposites for uranium removal from wastewater: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Materials Chemistry and Physics*, 283(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.125998>
- Sońta, M., Rekiel, A., & Batorska, M. (2019). Use of Duckweed (*Lemna L.*) in Sustainable Livestock Production and Aquaculture - a Review. *Annals of Animal Science*, 19(2), 257–271. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0048>
- Sulistia, S. (2019). KONSENTRASI LOGAM BERAT DARI DAERAH PERMUKIMAN DI SUNGAI CISADANE. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 11. <https://doi.org/10.29122/jrl.v11i2.3440>
- Sunarsih, E., Faisya, A. F., Windusari, Y., Trisnaini, I., Arista, D., Septiawati, D., Ardila, Y., Purba, I. G., & Garmini, R. (2018). Analisis Paparan Kadmium, Besi, Dan Mangan Pada Air Terhadap Gangguan Kulit Pada Masyarakat Desa Ibul Besar Kecamatan Indralaya Selatan Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(2), 68. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.2.68-73>
- 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. <https://doi.org/10.30872/cmgy.v3i1.2596>
- Talukder, A. ., Mahmud, S., Lira, S. ., & Aziz, A. (2015). Phycoremediation of Textile Industry Effluent by Cyanobacteria (*Nostoc muscorum* and *Anabaena variabilis*). *Bioresearch Communications*, 1(2), 124–127.
- Torok, A. L., Moldovan, A., Dinca, Z., & Neag, emilia juliana. (2020). METALS AND ORGANIC POLLUTANTS REMOVAL FROM WASTEWATER BY LOCAL *LEMNA MINOR* GENOTYPE. . *Agricultura*, 115(3).
- Ubuza, L. J. A., Padero, P. C. S., Nacalaban, C. M. N., Tolentino, J. T., Alcoran, D. C., Tolentino, J. C., Ido, A. L., Mabayo, V. I. F., & Arazo, R. O. (2020). Assessment of the potential of duckweed (*Lemna minor* l.) in treating lead-contaminated water through phytoremediation in stationary and recirculated

set-ups. *Environmental Engineering Research*, 25(6), 977–982.
<https://doi.org/10.4491/eer.2019.258>

Usharani, K., Divya, K., & Sruthilaya, K. (2020). Combined Effect of Nitrate Bioremoval by Aquatic Free Floating Plant an Association with Filamentous Cyanobacteria. *Austin Environmental Sciences*, 5(1), 5–8.

Verdian, T. (2015). *Resistensi Dan Potensi Bacillus Sebagai Bioremoval Logam Kadmium (Cd)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Zhao, C. S., Shao, N. F., Yang, S. T., Ren, H., Ge, Y. R., Feng, P., Dong, B. E., & Zhao, Y. (2019). Predicting cyanobacteria bloom occurrence in lakes and reservoirs before blooms occur. *Science of the Total Environment*, 670, 837–848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.161>

Zinicovscaia, I., Safonov, A., Zelenina, D., Ershova, Y., & Boldyrev, K. (2020). Evaluation of biosorption and bioaccumulation capacity of cyanobacteria *Arthrospira (spirulina) platensis* for radionuclides. *Algal Research*, 51(September), 102075. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102075>



LAMPIRAN



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

LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 208/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Dimas Ananda Nasution
 Alamat Pelanggan : Darussalam-Banda Aceh
 Tanggal di Terima : 6 Juni 2022
 Jenis Contoh Uji : Limbah Lindi (Kolam 1 Sebelum Proses)
 Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
 Tanggal di Analisa : 9 Juni 2022
 Baku Mutu : PermenLH Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah


No.	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	Tembaga (Cu)	mg/l	-	0,003	
2.	Kadmium (Cd)	mg/l	0,1	0,147	
3.	Merkuri (Hg)	mg/l	0,005	TD	lih. (1)

Keterangan:

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

Darussalam, 9 Juni 2022

Ketua


 Dr. Ir. Edy Muhawar, S.T., M.Eng.
 NIP. 1969 210 199802 1001

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

SURAT PERMOHONAN IZIN PENGGUNAAN ISOLAT BAKTERI

Sehubungan dengan pelaksanaan penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul **Uji Efektivitas Gabungan Rumpuk Bebek (*Lemna minor*) dan Cyanobacteria dalam Degradasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Besi (Fe) pada Lindi TPA Gampong Jawa**, dengan ini mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu selaku pembimbing Tugas Akhir Saudari dan Aya Khalila serta Saudari ybs untuk dapat kiranya memberi izin menggunakan isolat bakteri dalam hasil penelitian ybs.

Nama : Hamni Fatuwala
 NIM : 180702055
 Program Studi : Teknik Lingkungan/S1
 Universitas : Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

dengan spesifikasi bakteri sebagai berikut

Filum : Cyanobacteria

Genus : *Anabaena*

Demikian permohonan ini saya sampaikan, atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu/Saudari saya ucapkan terima kasih.

Pengizin I,

Pengizin II,

Pengizin III,

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.

Syafrina Sari Lubis, M.Si.

Aya Khalila, S.T.

A R - R A N I R Y

Pemohon,

Hanni Fatuwala

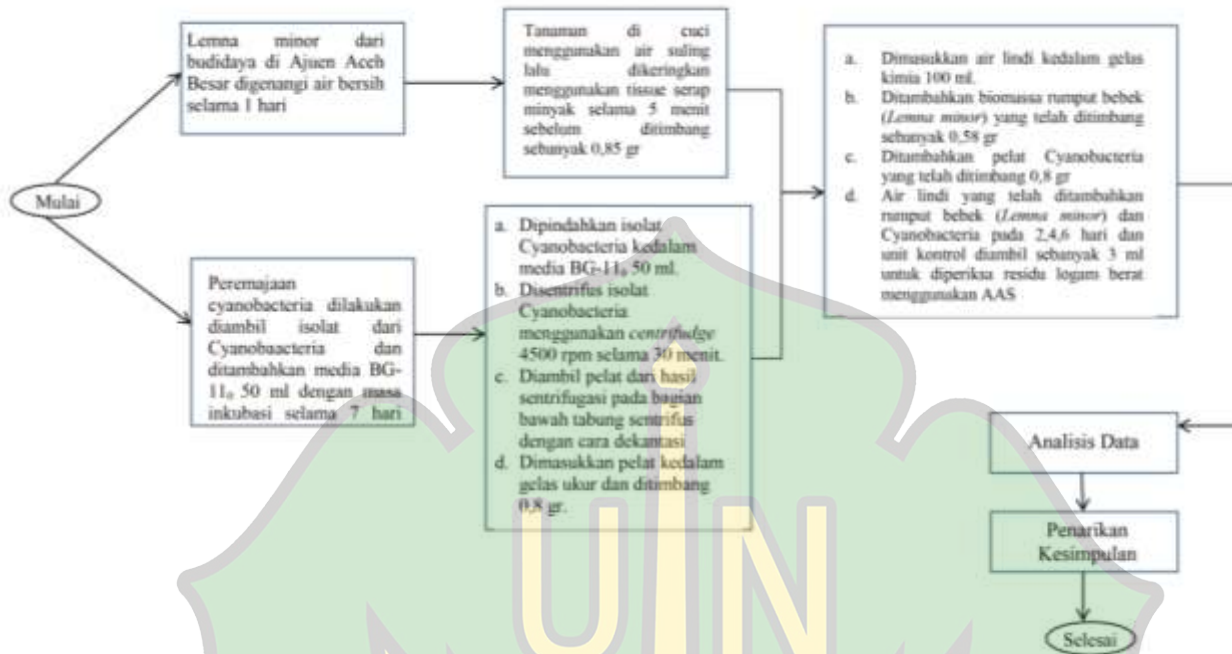
Surat Permohonan Penggunaan Isolat

No.	Nis.
Sudah terima dari	Sudah terima dari Hanni fatuwala
Banyaknya uang	Banyaknya uang Dua Juta Lima Ratus Enam Puluh Ribu
Rp.	Rupiah
Untuk pembayaran	Untuk pembayaran Biaya penelitian Tegar Athir
	menggunakan Cydnobacteria Anabaena
	Banda Aceh, 6/12/22
	2.560.000
	Aya Khasila
Untuk pembayaran	
BG-110 1L / 1,5 jt	
Maintenance / 800k	
Anabaena 100 ml / 900k	
Disc 20%	

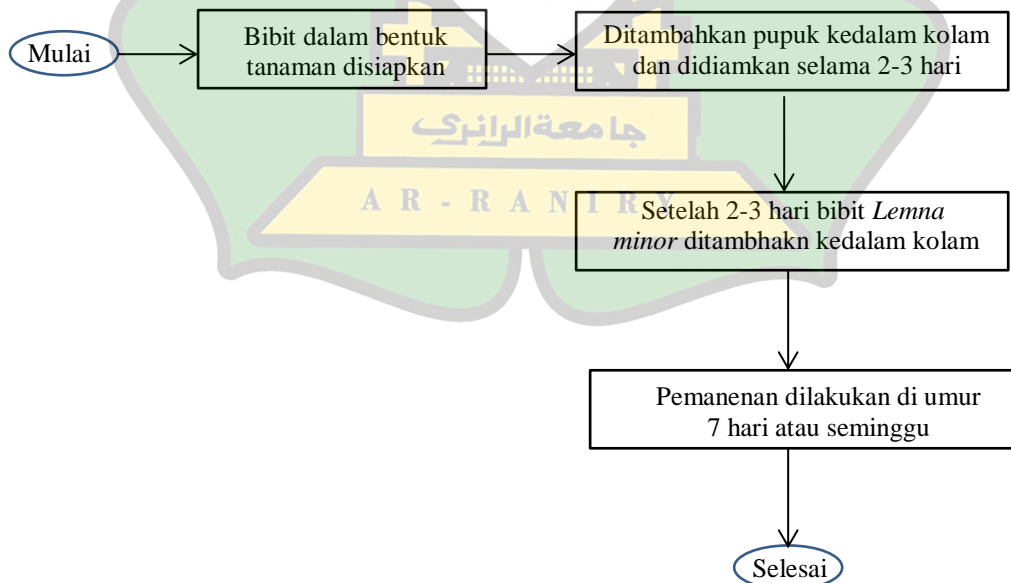
Nota Pembayaran Isolat *Anabaena*, Media BG-11₀ dan perawatan.






I. Lampiran Alur Penelitian



Lampiran Alur Budidaya *Lemna minor* di Ajuen, Aceh Besar



II. Lampiran Foto Kegiatan

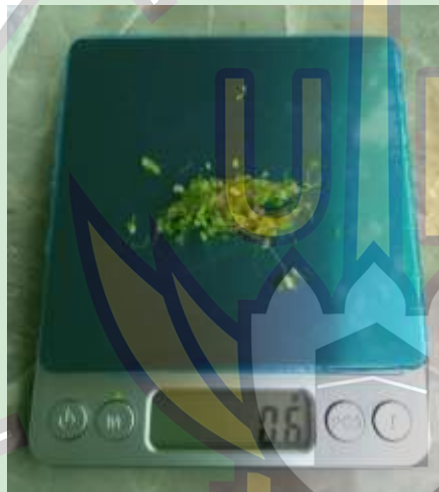
No	Gambar	Keterangan
1.		Budidaya <i>Lemna minor</i> di Ajuen, Aceh Besar
2.		Proses pengambilan Rumput Bebek (<i>Lemna minor</i>)
3.		Proses Aklimatisasi <i>Lemna minor</i> dari tempat budidaya

4.



Proses pengambilan air lindi di
TPA Gampong Jawa

5.



Penimbangan *Lemna minor*
guna dilakukan pengujian daya
tahan awal

6.



Penimbangan Cyanobacteria
guna dilakukan pengujian daya
tahan awal

7.



Pengujian daya tahan
Cyanobacteria dan *Lemna
minor* hari ke-1

8.



Pengujian daya tahan
Cyanobacteria dan *Lemna
minor* hari ke-2

9.



Penimbangan Rumput Bebek
(*Lemna minor*) untuk penelitian

10.



Penimbangan Cyanobacteria
untuk dilakukannya penelitian

11.



Pengukuran air lindi yang akan
digunakan.

12.



Kondisi Rumput Bebek (*Lemna
minor*) di air lindi dan telah
ditambahkan *Anabaena* di hari
awal

13.



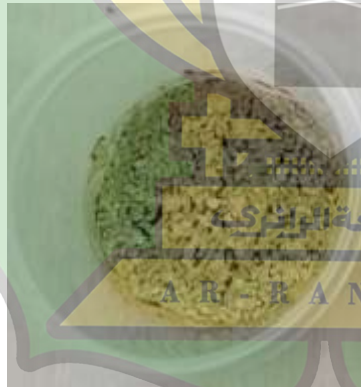
Kondisi Rumput Bebek (*Lemna minor*) di air lindi dan telah ditambahkan *Anabaena* di hari ke-2

14.



Kondisi Rumput Bebek (*Lemna minor*) di air lindi dan telah ditambahkan *Anabaena* di hari ke-4

15.



Kondisi Rumput Bebek (*Lemna minor*) di air lindi dan telah ditambahkan *Anabaena* di hari ke-6

16.



Anabaena

17.



Kondisi *Anabaena* di hari awal

18.



Kondisi *Anabaena* di hari ke-2 pada saat pengujian

19.



Kondisi *Anabaena* di hari ke-4 pada saat pengujian

20.



Kondisi *Anabaena* di hari ke-6 pada saat pengujian

III. Lampiran Hasil Uji Logam Akhir



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


LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 15/JTK-USK/LTPKL/2023

Nama Pelanggan : Hanni Fatuwala
Alamat Pelanggan : Darussalam-Aceh Besar
Tanggal di Terima : 08 Desember 2022
Jenis Contoh Uji : Air Lindi
Parameter Analisa : Kadmium (Cd)
Tanggal di Analisa : 30 Januari 2023
Untuk Keperluan : Penelitian Tugas Akhir
Baku Mutu : Lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

No.	Kode Contoh Uji	Satuan	Baku Mutu*	Hasil Analisa	Ket.
1.	2H	mg/l	0,1	0,0117	
2.	4H	mg/l	0,1	0,0085	
3.	6H	mg/l	0,1	0,0239	

Darussalam, 31 Januari 2023
Ketua,


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

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Lampiran Hasil Uji Logam Berat Kadmium



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


LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 730/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Hanni Fatuwala
 Alamat Pelanggan : Darussalam-Banda Aceh
 Tanggal di Terima : 8 Desember 2022
 Jenis Contoh Uji : Limbah Lindi
 Parameter Uji : Besi (Fe)
 Tanggal di Analisa : 21 Desember 2022
 Untuk Keperluan : Penelitian TA
 Baku Mutu : PermenLH Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu
 Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

No.	Kode Contoh Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	2 Hari	mg/l	-	4,585	
2.	4 Hari	mg/l	-	5,755	
3.	6 Hari	mg/l	-	6,060	

Darussalam, 21 Desember 2022
 Ketua,


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

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

IV. Lampiran Perhitungan

a. Perhitungan penurunan logam berat kadmium (Cd)

- Hari ke-2

$$\begin{aligned} H &= C_0 - C_s \\ &= 0,147 - 0,0117 \\ &= 0,135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= (H/C_0) \times 100\% \\ &= (0,135/0,147) \times 100\% \\ &= \mathbf{91,83\%} \end{aligned}$$

- Hari ke-4

$$\begin{aligned} H &= C_0 - C_s \\ &= 0,147 - 0,008 \\ &= 0,139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= (H/C_0) \times 100\% \\ &= (0,139/0,147) \times 100\% \\ &= \mathbf{94,55\%} \end{aligned}$$

- Hari ke-6

$$\begin{aligned} H &= C_0 - C_s \\ &= 0,147 - 0,023 \\ &= 0,124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= (H/C_0) \times 100\% \\ &= (0,124/0,147) \times 100\% \\ &= \mathbf{84,35\%} \end{aligned}$$

b. Perhitungan penurunan logam berat besi (Fe)

- Hari ke-2

$$\begin{aligned} H &= C_0 - C_s \\ &= 12,256 - 4,585 \\ &= 7,671 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= (H/C_0) \times 100\% \\
 &= (7,671/12,256) \times 100\% \\
 &= \mathbf{62,58\%}
 \end{aligned}$$

- Hari ke-4

$$\begin{aligned}
 H &= C_0 - C_s \\
 &= 12,256 - 5,755 \\
 &= 6,501 \\
 F &= (H/C_0) \times 100\% \\
 &= (6,501/12,256) \times 100\% \\
 &= \mathbf{53,04\%}
 \end{aligned}$$

- Hari ke-6

$$\begin{aligned}
 H &= C_0 - C_s \\
 &= 12,256 - 6,060 \\
 &= 6,196 \\
 F &= (H/C_0) \times 100\% \\
 &= (6,196/12,256) \times 100\% \\
 &= \mathbf{50,55\%}
 \end{aligned}$$

