

**KARAKTERISASI DAN UJI RESISTANSI BAKTERI INDIGEN
LIMBAH LINDI TPA GAMPONG JAWA TERHADAP
KADAR LOGAM BESI (Fe)**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

PURWATI SAPUTRI

NIM. 180703099

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Biologi**



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

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

**KARAKTERISASI DAN UJI RESISTANSI BAKTERI INDIGEN
LIMBAH LINDI TPA GAMPONG JAWA TERHADAP KADAR
LOGAM BESI (Fe)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Biologi

Oleh:

PURWATI SAPUTRI
NIM. 180703099

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Biologi

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I



Diannita Harahap, M.Si
NIP.198703222015032004

*Acc sidang
16/3 '23*

Pembimbing II

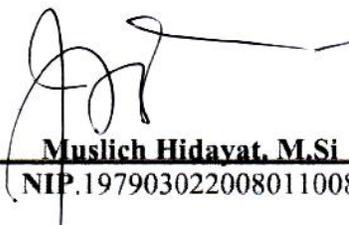


Syafrina Sari Lubis, M.Si
NIP.198004252014031002

*Acc
sidang
12/5/2023*

Mengetahui

Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi
Uin Air-raniry Banda Aceh



Muslich Hidayat, M.Si
NIP.197903022008011008

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
KARAKTERISASI DAN UJI RESISTANSI BAKTERI
INDIGEN LIMBAH LINDI TPA GAMPONG JAWA
TERHADAP KADAR LOGAM BESI (Fe)

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Biologi

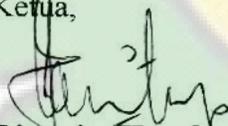
Pada Hari/Tanggal: Selasa, 26 Juni 2023

07 Dzulhijah 1444

Di Darussalam, Banda Aceh

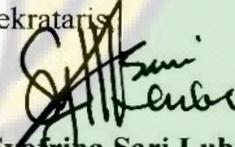
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,


Diannita Harahap, M.Si

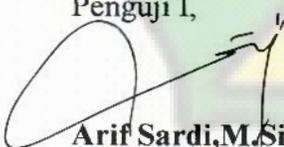
NIDN.2022038701

Sekretaris


Syafrina Sari Lubis, M.Si

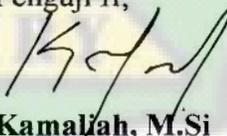
NIDN.2025048003

Penguji I,


Arif Sardi, M.Si

NIDN.2019068601

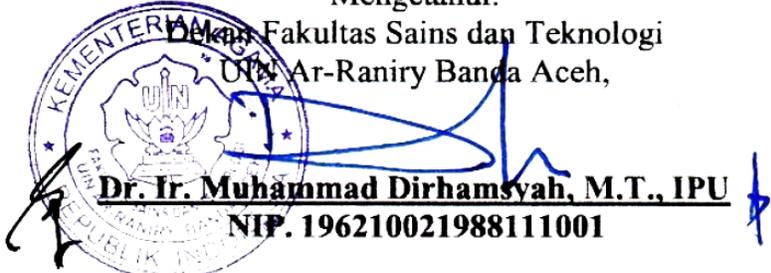
Penguji II,


Kamaliah, M.Si

NIDN.2015028401

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh,


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

NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Purwati Saputri
NIM : 180703099
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Karakterisasi dan Uji Resistansi Bakteri Indigen dari Limbah Lindi Terhadap Kadar Logam Besi (Fe)

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

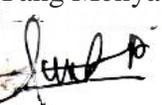
1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan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

Bila dikemudian 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, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan,


Purwati Saputri



ABSTRAK

Nama : Purwati Saputri
NIM : 180703099
Program Studi : Biologi
Judul : Karakterisasi dan Uji Resistansi Bakteri Indigen dari Limbah Lindi Terhadap Kadar Logam Besi (Fe)
Tanggal Sidang : 26 Juni 2023
Jumlah Halaman : 78
Pembimbing 1 : Diannita Harahap, M.Si
Pembimbing 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Kata Kunci : Air Lindi, Bakteri Indigen, Resistansi Logam Besi (Fe).

Bakteri indigen dikenal sebagai bakteri yang diisolasi dari habitat asalnya, sehingga bakteri indigen dapat berkembang biak dengan baik ditumbuhkan pada lingkungan asalnya. Limbah lindi adalah limbah berwarna hitam yang berasal dari air internal maupun eksternal dari tumpukan sampah yang banyak mengandung polutan organik dan anorganik seperti logam besi (Fe). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakterisasi bakteri indigen dari limbah lindi dan mengetahui kemampuan resistan bakteri indigen limbah lindi mendegradasi beberapa konsentrasi logam besi (Fe). Metode yang dilakukan ialah dengan mengisolasi bakteri indigen dari limbah lindi dengan metode tuang (*pour plate*) dan pengujian kemampuan resistan bakteri indigen dengan metode cakram disk. Hasil Penelitian Berdasarkan identifikasi secara makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia didapatkan 27 isolat dan memperoleh 8 genus diduga mengarah ke genus *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Neisseria* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Proteus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Escherichia* sp. Hasil uji resistensi bakteri paling resisten yaitu genus *Bacillus* sp. pada konsentrasi Fe 10 ppm tidak terbentuknya zona bening, pada 15 ppm nilai zona bening 0,81mm, dan 20 ppm nilai zona bening 1,15 mm. Kurva pertumbuhan isolat *Bacillus* sp. Konsentrasi 10 ppm nilai OD 2,340 dengan kepadatan bakteri 4,85 CFU/ml, konsentrasi 15 ppm nilai OD 1,980 dengan kepadatan bakteri 4,81 CFU/ml, dan konsentrasi 20 ppm nilai OD 1,320 dengan kepadatan bakteri 3,40 CFU/ml.

Kata Kunci : Air Lindi, Bakteri Indigen, Resistansi Logam Besi (Fe).

ABSTRACT

Name : Purwati Saputri
NIM : 180703099
Study Program : Biology
Title : *Characterization and Resistance Test of Indigene Bacteria from Leachate Waste to Iron Metal (Fe) Levels*
Date of Hearing : 26 June 2023
Number of Pages : 78
Pembimbing 1 : Diannita Harahap, M.Si
Supervisor 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Keywords : *Leachate, Indigene Bacteria, Resistance ferrous metal (fe).*

Indigene bacteria are bioremediation bacteria known as bacteria that are isolated from their original habitat, so that indigene bacteria can multiply properly if grown in their original environment. Leachate waste is black waste that comes from internal and external water from piles of garbage that contains a lot of organic and inorganic pollutants such as ferrous metal (Fe). The purpose of this study is to determine the characterization of indigene bacteria from leachate waste and determine the ability of indigene bacteria resistance of leachate waste to de-certify several concentrations of ferrous metal (Fe). The method carried out is by isolating indigene bacteria from leachate waste by the pour plate method and testing the resistance ability of indigene bacteria with the disk disc method. Research Results Based on macroscopic, microscopic and biochemical test identification, 27 isolates were obtained and obtained 8 genera suspected to lead to the genus Pseudomonas sp., Bacillus sp., Neisseria sp., Micrococcus sp., Staphylococcus sp., Proteus sp., Acinetobacter sp., and Escherichia sp. The results of the most resistant bacterial resistance test are the genus Bacillus sp. at a Fe concentration of 10 ppm there is no clear zone, at 15 ppm the clear zone value is 0.81mm, and 20 ppm the clear zone value is 1.15mm. Growth curve of isolates of Bacillus sp. concentration of 10 ppm OD value 2,340 with bacterial density 4,85 CFU/ml, concentration of 15 ppm OD value 1,980 with bacterial density 4,81 CFU/ml, and concentration 20 ppm OD value 1,320 with bacterial density 3,40 CFU/ml.

Keywords : *Leachate, Indigene Bacteria, Resistance ferrous metal (fe).*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan petunjuk-Nya dalam menyelesaikan proposal dengan judul **“Karakterisasi dan Uji Resistansi Bakteri Indigen dari Limbah Lindi Terhadap Kadar Logam Besi (Fe)”** dan tidak lupa Shalawat beserta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita ke alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Proposal ini merupakan salah satu syarat akademik bagi seluruh mahasiswa Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-raniry guna untuk memenuhi mata kuliah wajib bagi mahasiswa. Tahap penyelesaian proposal ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karna itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. M. Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry.
2. Muslich Hidayat, M.Si selaku Ketua Program Studi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Syafrina Sari Lubis, M.Si selaku sekretaris dan pembimbing 2 Program Studi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah memberikan bimbingan nasihat serta arahan dalam menulis.
4. Diannita Harahap, M.Si selaku Pembimbing 1 dan Pembimbing Akademik (PA) dan selaku Dosen Kebidangan yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menulis.
5. Ayu Nirmala Sari, M.Si, Raudhah Hayatillah, M.Sc, Arif Sardi, M.Si, Lina Rahmawati, M.Si, Meutia Zahara, Ph.D, Kamaliah, M.Si, dan Ilham Zulfahmi, M.Si, selaku Dosen Prodi Biologi yang sudah memberikan ilmu serta membantu dalam proses penulisan skripsi ini.

6. Firman Rija, S.Pd, M.Si dan Nanda Anastia, S.Si, selaku Staf Prodi Biologi yang telah banyak membantu segala keperluan penulisan skripsi ini.
7. Nur Asiah dan Jamaludin selaku orang tua penulis yang telah membantu dan membesarkan sampai sekarang.
8. Teman-teman seperjuangan Prodi Biologi khususnya letting 2018.

Penulis ucapkan terimakasih atas bimbingan dan juga dukungan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga segala dukungan dan do'a mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat luas.

Banda Aceh, 26 Juni 2023

Penulis,

Purwati Saputri

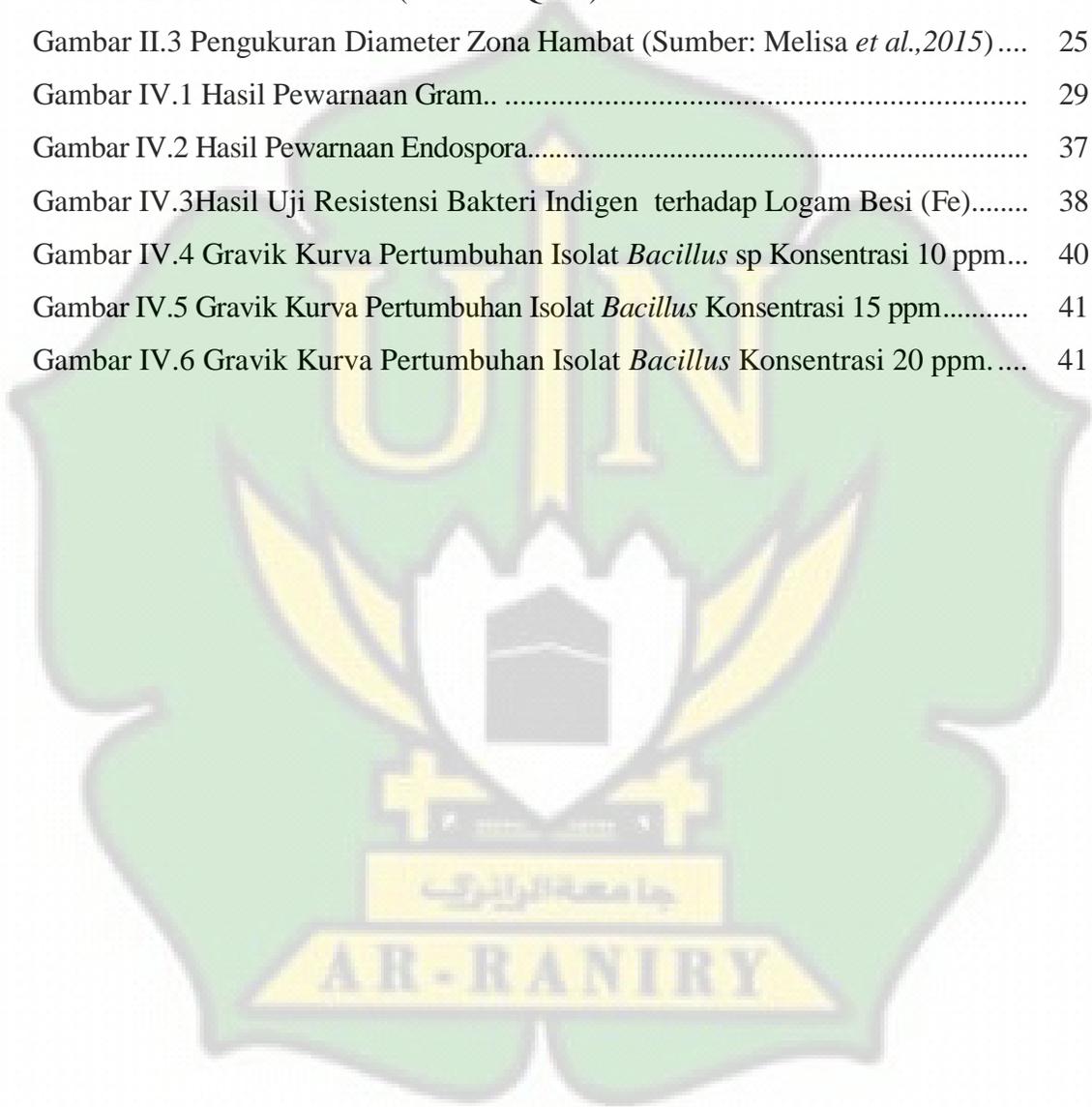
DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI | i |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| ABSTRAK | iv |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| DAFTAR SINGKATAN | xiii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| I.1 Latar Belakang..... | 1 |
| I.2 Rumusan Masalah | 5 |
| I.3 Tujuan penelitian | 5 |
| I.4 Manfaat Penelitian..... | 6 |
| | |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | 7 |
| II.1 Limbah Lindi..... | 7 |
| II.2 Logam Berat..... | 7 |
| II.2.1 Logam Besi (Fe)..... | 8 |
| II.2.2 Pengaruh Logam Besi (Fe) terhadap Lingkungan dan Mahkluk Hidup..... | 9 |
| II.3 Bioremediasi..... | 9 |
| II.4 Bakteri Indigen..... | 10 |
| II.4.1 Struktur Sel Bakteri..... | 10 |
| II.4.2 Fase Pertumbuhan Bakteri..... | 13 |
| II.4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri.. .. | 14 |
| II.4.4 Mekanisme Resistan Bakteri terhadap Logam Besi (Fe). | 15 |
| II.4.5 Isolasi dan Identifikasi Bakeri..... | 16 |
| | |
| BAB III METODE PENELITIAN | 18 |
| III.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... | 18 |
| III.2 Jenis dan Rancangan Penelitian..... | 18 |
| III.3 Alat dan Bahan Penelitian.... | 18 |
| III.3.1 Alat Penelitian..... | 18 |
| III.3.2 Bahan penelitian..... | 18 |
| III.4 Pengambilan Sampel..... | 18 |
| III.4.1 Karakteristik Air Lindi..... | 19 |

| | |
|---|-----------|
| III.5 Isolasi Bakteri Indigen dari Limbah Lindi..... | 20 |
| III.6 Pemurnian Bakter | 20 |
| III.7 Karakterisasi Bakteri..... | 21 |
| III.7.1 Identifikasi Secara Makroskopis. | 21 |
| III.7.2 Identifikasi Secara Mikroskopis. | 21 |
| III.7.3 Uji Biokimia..... | 23 |
| III.8 Uji Resistansi Bakteri Indigen pada Logam Besi (Fe) | 24 |
| III.9 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Salah Satu Isolat..... | 26 |
| III.10 Analisis Data..... | 26 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 27 |
| IV.1 Hasil Penelitian..... | 27 |
| IV.1.1 Karakteristik Bakteri Indigen Limbah Lindi di TPA Gampong Jawa | 27 |
| IV.1.2 Hasil Uji Resistensi Bakteri Indigen Limbah Lindi terhadap beberapa Konsentrasi Logam Besi (Fe)... .. | 37 |
| IV.1.3 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri Indigen Limbah Lindi..... | 39 |
| IV.2 Pembahasan..... | 42 |
| IV.2.1 Karakterisasi Bakteri Indigen Limbah Lindi TPA Gampong Jawa | 42 |
| IV.2.2 Uji Resistansi Bakteri Indigen pada Logam Besi (Fe) | 43 |
| IV.2.3 Uji Kurva Pertumbuhan Bakteri Indigen Limbah Lindi.... | 45 |
| BAB V PENUTUP..... | 51 |
| V.1 Kesimpulan..... | 51 |
| V.2 Saran..... | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 5 |
| LAMPIRAN..... | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar II.1 Struktur Bakteri (Sumber: Rahmadina & Febriani, 2017). | 10 |
| Gambar II.2 Grafik Fase Pertumbuhan Bakteri (Sumber : Cappucino, 2014). | 13 |
| Gambar III.1 Lokasi Penelitian (Sumber : QGIS).. | 19 |
| Gambar II.3 Pengukuran Diameter Zona Hambat (Sumber: Melisa <i>et al.</i> ,2015).... | 25 |
| Gambar IV.1 Hasil Pewarnaan Gram. | 29 |
| Gambar IV.2 Hasil Pewarnaan Endospora..... | 37 |
| Gambar IV.3 Hasil Uji Resistensi Bakteri Indigen terhadap Logam Besi (Fe)..... | 38 |
| Gambar IV.4 Gravik Kurva Pertumbuhan Isolat <i>Bacillus</i> sp Konsentrasi 10 ppm... | 40 |
| Gambar IV.5 Gravik Kurva Pertumbuhan Isolat <i>Bacillus</i> Konsentrasi 15 ppm..... | 41 |
| Gambar IV.6 Gravik Kurva Pertumbuhan Isolat <i>Bacillus</i> Konsentrasi 20 ppm. | 41 |



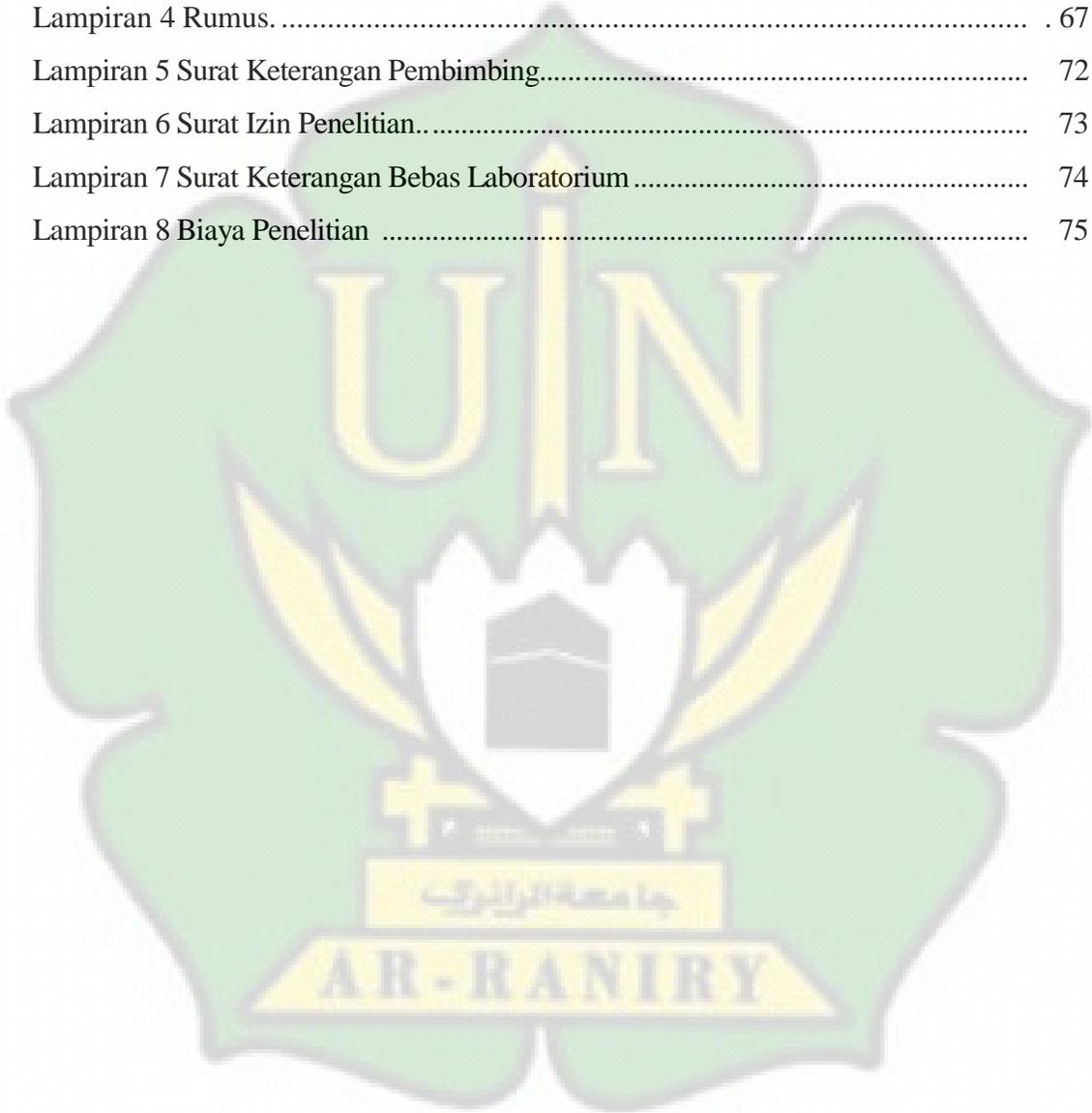
DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel II.1 Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif..... | 12 |
| Tabel IV.1 Nilai Rata-rata Faktor Lingkungan..... | 28 |
| Tabel IV.2 Karakteristik Bakteri Indigen Limbah Lindi..... | 29 |
| Tabel IV.3 Hasil Uji Mikroskopis Bakteri Indigen Limbah Lindi..... | 32 |
| Tabel IV.4 Hasil Karakterisasi Genus Bakteri Indigen Limbah Lindi..... | 36 |
| Tabel IV.5 Hasil Uji Resistensi Bakteri Indigen Limbah Lindi pada Logam (Fe) ... | 38 |
| Tabel IV.6 Hasil Kurva Pertumbuhan (Viabilitas) Isolat <i>Bacillus</i> sp..... | 39 |



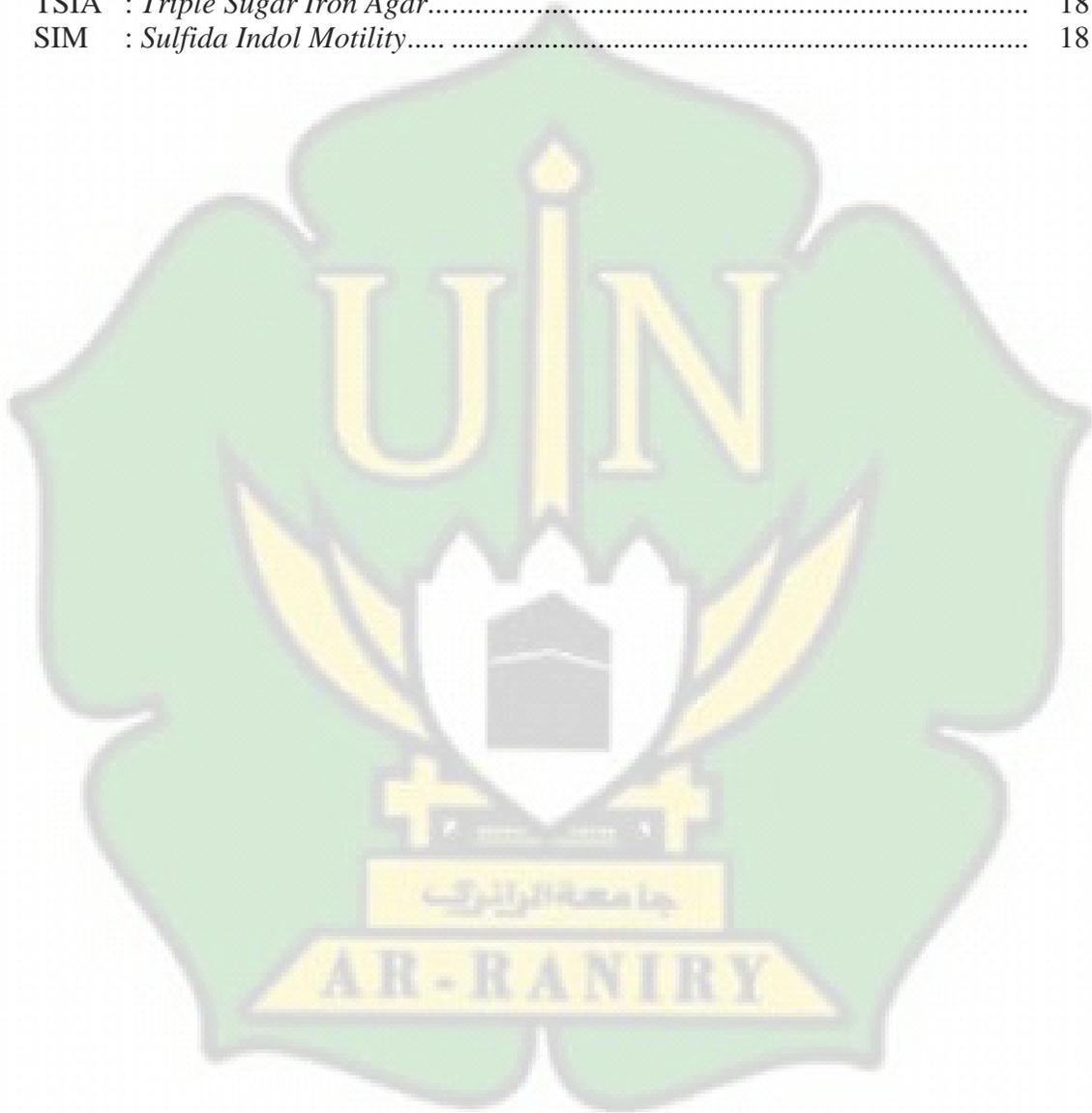
LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Alur Penelitian..... | 62 |
| Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian..... | 63 |
| Lampiran 3 Isolasi Bakteri Indigen Limbah Lindi..... | 65 |
| Lampiran 4 Rumus..... | 67 |
| Lampiran 5 Surat Keterangan Pembimbing..... | 72 |
| Lampiran 6 Surat Izin Penelitian..... | 73 |
| Lampiran 7 Surat Keterangan Bebas Laboratorium..... | 74 |
| Lampiran 8 Biaya Penelitian | 75 |



DAFTAR SINGKATAN

| | | |
|------|---------------------------------------|----|
| TPA | : <i>Tempat Pembuangan Akir</i> | 1 |
| NA | : <i>Nutrien Agar</i> | 18 |
| NB | : <i>Nutrien Broth</i> | 18 |
| MHA | : <i>Muller Hinton Agar</i> | 18 |
| TSIA | : <i>Triple Sugar Iron Agar</i> | 18 |
| SIM | : <i>Sulfida Indol Motility</i> | 18 |



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sampah buangan yang merupakan padatan dan polutan umum yang tidak terpakai lagi yang menyebabkan berbagai jenis penyakit, menimbulkan polusi, menurunkan sumber daya, serta dapat menurunkan estetika lingkungan. Tingginya aktivitas sosial ekonomi masyarakat menyebabkan masyarakat lebih banyak mengkonsumsi barang dan jasa. Ini meningkatkan jumlah limbah (sampah) perkapita yang dibuang setiap hari. Peningkatan jumlah penduduk juga menjadi salah satu faktor peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan oleh kegiatan ekonomi dan kegiatan yang dilakukan (Arnita & Aidar, 2018).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2021) jumlah penduduk Kota Banda Aceh 505,732 jiwa pada tahun 2021, dimana besarnya jumlah penduduk dan tingginya situasi sosial ekonomi masyarakat menyebabkan jumlah sampah yang dibuang setiap hari semakin meningkat. Hal ini diperkuat dengan data Dinas Lingkungan Hidup, Kebersihan dan Keindahan Kota Banda Aceh (DLHK, 2021), potensi timbulan sampah mencapai 88.800,12 ton/perhari. Untuk mengurangi timbunan sampah sangat diperlukan peran Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Walaupun demikian, permasalahan lain sampah yang berada di TPA tersebut mengalami proses pembusukan (dekomposisi) yang kemudian menghasilkan suatu limbah cair beracun yang disebut limbah lindi (*leachate*) dan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan (Ulfani *et al.*, 2019).

TPA merupakan salah satu tempat pembuangan sampah di Kota Banda Aceh yang berada di Kecamatan Kutaraja, Gampong Jawa dengan sistem pengolahan sampah *sanitary landfill*, yaitu sampah yang dibuang ditutupi dengan tanah dan dipadatkan dengan alat berat. Kemudian lapisan atas sampah yang dituangkan kembali diisi kembali dengan tanah berlapis-lapis dan dipadatkan kembali. *Sanitary Landfil* merupakan sistem pengolahan sampah dengan cara membuang dan menumpuk sampah ke lokasi yang cekung, memadatkan sampah tersebut dan

menutupnya dengan tanah (Priatna *et al.*, 2019).

Proses air eksternal masuk ke tumpukan sampah membasahi dan melarutkan material timbunan sehingga memiliki berbagai polutan organik dan anorganik yang disebut air lindi (Sari *et al.*, 2021). Keluarnya air lindi akan mengekstraksi material terlarut dengan proses fisis, kimia dan biologis yang terjadi pada timbunan sampah. Secara umum, limbah lindi bersifat asam, mengandung ion sulfat dan memiliki konsentrasi logam yang tinggi (Apriyani & Lesmana, 2020).

Air lindi pada umumnya mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biology Oxygen Demand* (BOD), *Electrical Conductivity* (EC), *Total Suspended Solid* (TSS), logam berat, keasaman (pH), dan mikroorganisme (Sari & Afdal, 2017). Cairan lindi mempengaruhi sifat air tanah, seperti konsentrasi tinggi padatan terlarut total, konduktivitas listrik, tingkat kekerasan, klorida, COD, nitrat dan sulfat dan mengandung logam berat yang kandungannya menurun setelah musim hujan dan meningkat sebelum musim hujan (Mahyudin, 2017).

Sistem pengolahan sampah *Sanitary Landfil* di TPA Gampong Jawa memiliki kombinasi 3 kolam penampungan limbah lindi. Kolam lindi 1 kolam anaerobik proses yang terjadi di kolam ini adalah proses tanpa bantuan oksigen kandungan BOD relatif tinggi. Permukaan kolam dibiarkan berbuih berbentuk kerak sebagai pencegah masuknya matahari ke dalam kolam dan air limbah yang ditampung dibiarkan tanpa ada pengolahan secara khusus (Thomas R, & Dian, 2019).

Kolam lindi 2 kolam aerobik juga sering disebut sebagai kolam aerobik tingkat tinggi. Kolam aerobik dengan proses bantuan oksigen sehingga memungkinkan cahaya untuk mereduksi (mengurangi) COD, BOD dan SS (padatan tersuspensi) serta beberapa bakteri (Safia P & Perdana, 2022). Kolam lindi 3 atau kolam maturasi (pematangan) dimana pengolahan akhir limbah cair, terutama secara aerobik karena sebagian limbah cair telah terambil pada unit-unit kolam anaerobik. Fungsi utama kolam lindi 3 secara maturasi mengalirkan air lindi secara gravitasi keseluruh sistem (Thomas R, & Dian, 2019).

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) mempunyai karakteristik limbah lindi berbeda-beda tergantung pada proses yang terjadi di dalam limbah lindi, yang meliputi proses alternatif kimia, biologi dan fisika (Sari R, & Afdhal, 2017). Hasil uji pendahuluan limbah lindi pada kolam 1 dengan proses anaerob di TPA Gampong Jawa, dengan parameter uji logam besi (Fe) 12,256 ppm, dimana nilai ambang baku mutu limbah logam besi (Fe) 5 ppm menurut PERMENLHK No 5 tahun 2014 (Zakirul,2022). Logam besi dengan konsentrasi tinggi yang terdapat di lingkungan dapat mencemari dan menimbulkan bahaya bagi makhluk hidup (Rahmawati A, & Zulaikha, 2021).

Penelitian terdahulu kandungan logam berat yang terkandung di dalam air lindi TPA Gampong Jawa menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat seng (Zn) 0,4188 ppm, tembaga (Cu) 0,1198 ppm, besi (Fe) 10,9191 ppm dan kadar logam non esensial merkuri (Hg) 0,00463 ppm, kadmium (Cd) tidak terdeteksi (tt), timbal (Pb) 0,0602 ppm, kromium (Cr) 0,0502 ppm dan nikel (Ni) 0,9820 ppm. Dari hasil analisa logam besi (Fe) pada limbah lindi mencapai 10,9191 ppm, nilai ini melebihi nilai ambang baku mutu. Hal ini, ditandai dengan warna lindi hitam coklat kepekatan (Irhanni *et al.*, 2017).

Limbah lindi sebagai zat pencemar dapat mencemari air tanah atau air sumur melalui rembesan lindi yang masuk ke dalam pori-pori tanah yang terkontaminan.. Kemampuan permeabilitas tanah menyebabkan air lindi mudah cepat meresap pada air tanah kemudian mencemari air sumur masyarakat sekitar (Annisa & Rahardjo, 2017). Dampak negatif air lindi yaitu apabila tercemar ke sungai dapat membunuh biota-biota yang ada di sungai, dapat mencemari air tanah, terutama di daerah yang curah hujan dan muka air tanahnya tinggi (Sari, *et al.*, 2021). Air yang berada di permukaan yang terkontaminasi dengan air lindi dapat menimbulkan kematian ikan, perubahan keseimbangan hidup flora dan fauna di dalam air (Ulfani *et al.*, 2019).

Kasus cemaran limbah lindi yang mencemari air sumur di sekitar TPA Gampong Jawa Kota Banda Aceh berasal dari cemaran lingkungan Bahan Buangan Bahaya (B3) dari TPA, seperti terjadinya infiltrasi lindi yang mampu

mencemari air tanah dangkal, mencemari permukaan air, polusi udara, pencemaran tanah dan mencemari air sungai Krueng Aceh yang berdekatan dengan TPA Gampong Jawa. Air lindi yang dihasilkan mampu memberikan dampak negatif terhadap kualitas air sumur disekitar TPA. Nilai *index pollution* (IP) pada sumur 1 TPA Gampong Jawa sebesar 5,25 dan sumur 2 TPA Gampong Jawa nilai IP sebesar 5,39. Nilai IP sumur 1 dan sumur 2 termasuk dalam kategori limbah lindi cemar sedang, pada air sumur 1 rumah penduduk memiliki nilai IP sebesar 4,39 dan sumur 2 rumah penduduk mempunyai nilai IP 3,43 yang kedua sumur ini termasuk dalam kategori cemar ringan (Darnas *et al.*, 2020). Air lindi dideteksi tersebar di sekitar sumur rumah penduduk pada kedalaman 3 – 22,4 m dengan nilai resistivitas 0,00 – 0,400 (Fitria *et al.*, 2018).

Pengendalian secara biologis memiliki potensi sebagai alternatif untuk perbaikan pencemaran biodegradasi mikriorganisme adalah salah satu cara yang efektif, tepat dan hampir tidak ada pengaruh sampingnya pada lingkungan (Rahadi *et al.*, 2019). Bioremediasi dapat menurunkan konsentrasi polutan sampai berada di bawah ambang batas, ramah lingkungan karena menggunakan makhluk hidup untuk memecah polutan sampai tidak ada kerusakan yang dicapai. Teknik yang digunakan adalah dengan menggunakan makhluk hidup tertentu yang mampu hidup di lingkungan yang tercemar dan memiliki kemampuan untuk mengurangi toksisitas yang berisiko terhadap kesehatan manusia dan atau lingkungan (Pratiwi & Asri, 2022).

Bakteri indigen merupakan salah satu alternatif bioremediasi yang mampu mereduksi logam berat. Bakteri indigen adalah bakteri yang diisolasi dari limbah itu sendiri yang secara alamiah hidup pada limbah, sehingga berpotensi dalam proses bioremediasi (Fidiastuti & Suarsini, 2017). Bakteri yang diisolasi dari limbah lindi di antaranya *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus warnerii*, dan *Streptococcus* sp (Garcete *et al.*, 2022). Penelitian terdahulu bakteri yang mampu mereduksi logam berat diantaranya logam berat merkuri (Hg), yaitu

Pseudomonas putida, *Pseudomonas aeruginosa*, *Citrobacter freundii* (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022). Bakteri yang mampu meresistensi logam berat timbal (Pb) yaitu, *Bacillus alvei*, *Bacillus pumillus* dan *Bacillus lichenformis*. Bakteri *Bacillus alvei* mampu menurunkan efisiensi reduksi logam berat 79,32%, bakteri *Bacillus pumillus* sebesar 81,31% dan bakteri *Bacillus lichenformis* 83.62% (Ikerismawati, 2019).

Pengendalian pada lingkungan tercemar oleh bakteri yang dapat melakukan *leaching* (pencucian) bakteri *Burkholderia pseudomallei* mampu menurunkan kadar logam besi (Fe). Penelitian terdahulu penyisihan logam besi (Fe) yang dilakukan oleh bakteri *Burkholderia pseudomallei* dengan kondisi salinitas dan pH mempengaruhi model persamaan kinetika *pseudo firstorder* yang menunjukkan hasil biosorpsi yang lebih baik ($R^2 = 0,7909$) dengan stabil laju kinetika (k_1) sebesar $-0,123 \text{ jam}^{-1}$. Model persamaan kinetika *pseudo secondorder* menunjukkan hasil penyerapan yang lebih baik ($R^2 = 0,9668$) dengan stabil laju kinetika (k_2) sebesar $-0,00038 \text{ mg/g.jam}$ (Syawalian *et al.*, 2019).

Bakteri yang diisolasi dari lingkungan yang terkontaminasi logam berat berpotensi untuk digunakan sebagai agen bioremediasi karena bakteri memiliki ketahanan dan toleransi terhadap logam berat di sekitarnya (Fidiastuti *et al.*, 2019). Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti tertarik untuk mencari alternatif bakteri lokal yang berpotensi menyisihkan logam besi (Fe), dengan merujuk penelitian dahulu.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakterisasi bakteri indigen dari limbah lindi?
2. Bagaimana uji resistansi bakteri indigen limbah lindi terhadap beberapa konsentrasi logam besi?
3. Bagaimana kurva pertumbuhan bakteri indigen limbah lindi?

I.3 Tujuan penelitian

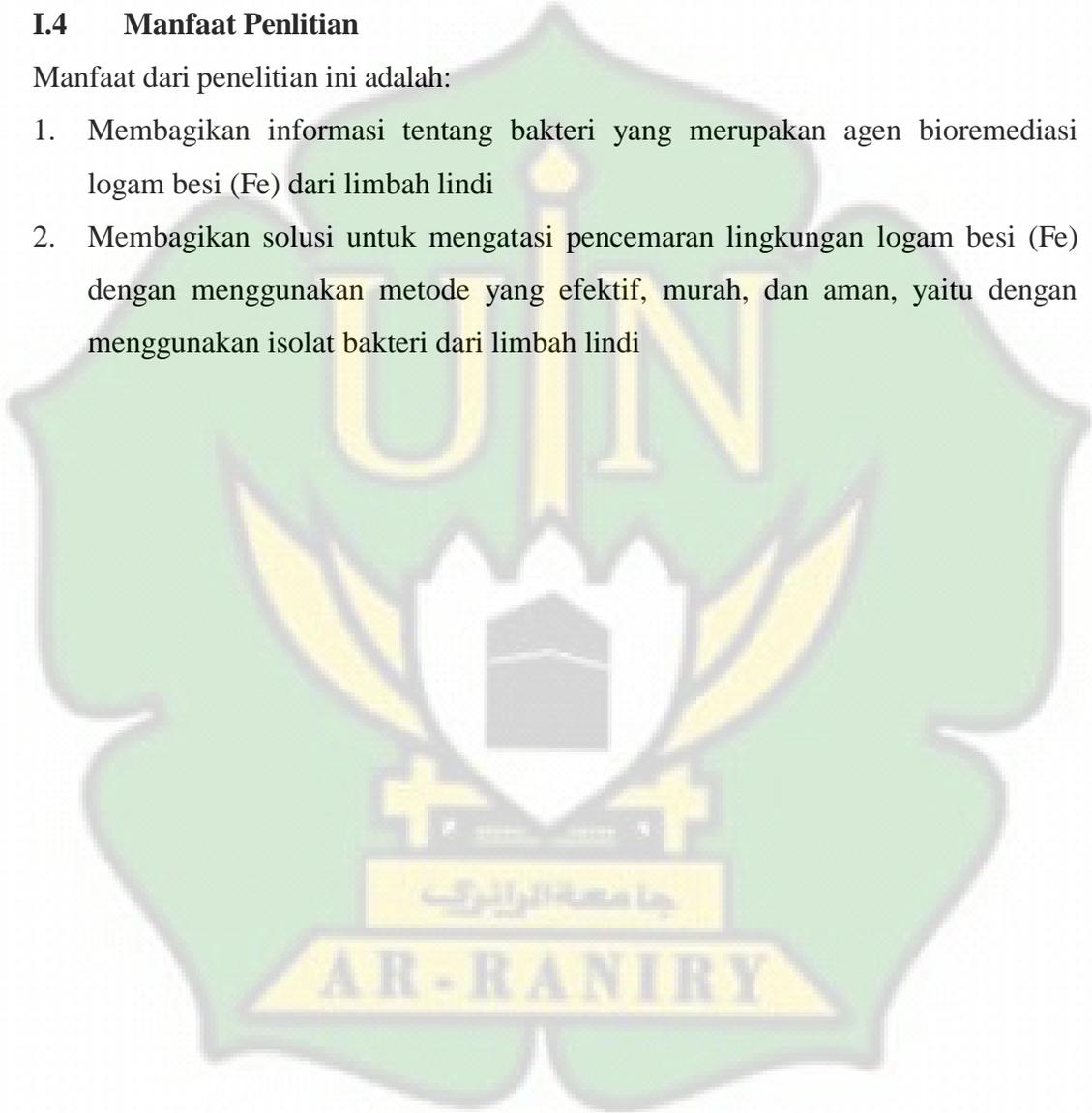
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakterisasi bakteri indigen dari limbah lindi
2. Mengetahui kemampuan resistan bakteri indigen limbah lindi terhadap beberapa konsentrasi logam besi (Fe)
3. Mengetahui kurva pertumbuhan bakteri indigen limbah lindi

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Membagikan informasi tentang bakteri yang merupakan agen bioremediasi logam besi (Fe) dari limbah lindi
2. Membagikan solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan logam besi (Fe) dengan menggunakan metode yang efektif, murah, dan aman, yaitu dengan menggunakan isolat bakteri dari limbah lindi



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

II.1 Limbah Lindi

Penumpukan sampah TPA yang mengeluarkan limbah pencemaran cair yang biasa disebut dengan air lindi (*leachate*) (Annisa & Rahardjo, 2017). Air lindi akan masuk di sela-sela rongga sampah menyebabkan air lindi akan keluar dan mengekstraksi material terlarut tersuspensinya bahan organik dan anorganik hasil proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi pada timbunan sampah (Apriyani & Lesmana, 2020).

Faktor yang dapat mempengaruhi air lindi, yaitu komposisi sampah, jenis sampah, ukuran partikel tanah, iklim, hidrologi, usia TPA dan lokasi TPA. Senyawa organik yang terkandung dalam limbah lindi antara lain *Biochemical Oxygen Demand* (BOD5) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Senyawa anorganik yang terkandung dalam limbah lindi seperti ion klorida, amonium, dan logam berat, sedangkan senyawa xenobiotik pada lindi meliputi bakteri patogen, dioksin, dan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) (Abdullah & Bagastyo, 2015). Limbah lindi mampu menimbulkan pencemaran air, baik air di permukaan, air tanah maupun air bawah tanah, sehingga perlu dikelola dengan baik (Syawalian *et al.*, 2019).

II.2 Logam Berat

Salah satu kandungan senyawa anorganik dalam limbah lindi yaitu logam berat yang didefinisikan sebagai logam dengan kepadatan, berat atom, atau nomor atomnya tinggi. Logam berat adalah unsur kimia dengan kerapatan atom lebih besar dari 5 g/cm^3 atau logam yang mempunyai berat molekul di atas 40. Logam berat memiliki nomor atom 22 sampai 92 (Kallang, 2020).

Logam berat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Logam berat esensial adalah logam dengan konsentrasi tertentu diperlukan makhluk hidup, tetapi Logam berat dibagi menjadi dua bagian, yaitu logam berat esensial dan non-esensial. Logam berat esensial adalah logam dengan konsentrasi tertentu yang diperlukan untuk organisme, tetapi jenis

logam ini dapat menyebabkan efek toksik jika memiliki jumlah yang tinggi, misalnya, Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan sejenisnya. Logam berat tidak penting, logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan beracun di alam seperti Hg, Cd, Pb dan Cr (Irhamni *et al.*, 2017).

II.2.1 Logam Besi (Fe)

Besi merupakan logam berat yang berwarna putih keperakan dan memiliki simbol Fe dengan valensi angka 2 dan 3. Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari biji besi. Air yang mengandung besi tinggi terlihat jernih sesaat ketika ditampung dan akan berubah warna menjadi kuning serta licin yang memiliki bau besi atau bau tanah (Lensoni, 2017). Air yang mengandung besi (Fe) biasanya akan membentuk endapan coklat serta berwarna kemerahan. Kandungan besi yang terdapat dalam air akan membuat pipa mudah berkarat (Joko & Rachmawati, 2016). Logam besi (Fe) termasuk logam berat esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebih dapat menimbulkan efek racun (Supriantini & Endrawati, 2018).

Besi yang berada di air umumnya bersifat terlarut dalam bentuk ferro (Fe II) Fe^{2+} atau ferri (Fe III) Fe^{3+} yang tersuspensi kedalam bentuk butir koloidal yang memiliki diameter $<1 \mu m$. Besi (Fe) juga mempunyai bentuk yang lebih besar, seperti Fe^2O_3 , FeO, $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$. Ukuran besi (Fe) tersebut dapat bergabung dengan zat organik ataupun zat padat anorganik seperti tanah liat. Besi (Fe) yang berada di batuan berbentuk ferihidroksida ($Fe(OH)_3$) dan di dalam tanah berbentuk ferioksida (Fe^2O_3). Besi (Fe) yang berada didalam air memiliki bentuk yang berbeda yaitu ferihikarbonat ($Fe(HCO_3)_2$), ferohidroksida ($Fe(OH)_2$), ferosulfat ($FeSO_4$) dan berbentuk organik yang kompleks (Suswanto *et al.*, 2020).

II.2.2 Pengaruh Logam Besi (Fe) terhadap Lingkungan dan MakhluK Hidup

Zat besi (Fe) merupakan salah satu senyawa yang dapat ditemukan pada semua badan air dan semua lapisan geologis. Kandungan ion besi (Fe) pada air sumur bor berkisar antara 5-7 mg/L. Standar kandungan zat besi (Fe) air bersih berdasarkan PERMENKES RI: No. 416/Menkes/Per/IX/1990 maksimal 1,0 mg/L

(Lensoni, 2017).

Limbah buangan yang mengandung logam besi (Fe) bukan hanya bersifat bahaya terhadap manusia, hewan dan tumbuhan. Kandungan logam besi (Fe) yang tinggi berdampak pada manusia seperti keracunan (muntah), kanker kerusakan usus, masalah mental, gangguan penyerapan vitamin dan mineral serta hemokromatis (Ariyeti *et al.*, 2019). Bahaya menghirup debu Fe dapat terakumulasi dalam alveoli paru-paru yang menyebabkan sesak (Adhani R & Husaini, 2017).

II.3 Bioremediasi

Bioremediasi terdiri dari dua kata, yaitu '*bio*' yang berarti hidup atau mengacu pada organisme hidup dan '*remediasi*' berarti suatu tindakan atau proses penyembuhan yang mengacu pada proses mengatasi masalah (Fidiastuti *et al.*, 2019). Bioremediasi adalah salah satu konsep pengendalian lingkungan dengan menggunakan agen hayati maupun hasil metabolisme kehidupannya untuk memperbaiki kualitas yang buruk sehingga dapat digunakan secara optimal dan ditingkatkan produktivitasnya (Kurniawan, 2021).

Bioremediasi menggunakan mikroorganisme untuk mengubah molekul pencemar organik menjadi senyawa yang tidak lagi berbahaya bagi lingkungan dan kehidupan (Sunaryanto, 2017). Teknologi bioremediasi ada dua jenis yaitu, teknik *ex situ* dan *in situ*. Teknik bioremediasi dengan *in-situ* merupakan media yang tercemar dan zat pencemarnya tetap berada pada lokasi asal ketika pelaksanaan bioremediasi dilakukan. Sedangkan, bioremediasi dengan *ex-situ* adalah media yang tercemar dan zat pencemarnya dipindahkan dari lokasi asal menuju ke tempat lain, untuk dilaksanakannya proses bioremediasi (Dicky & Ratni, 2021).

Bioremediasi *in situ* umumnya terdiri dari tiga metode dasar yaitu *natural attenuation*, *bioaugmentasi* dan *biostimulation*. Bioremediasi *ex situ* yang merupakan teknik yang dilakukan dengan pemindahan lahan tercemar dengan membawa sampel pada tempat proses bioremediasi *ex situ* umumnya ada empat metode dasar, yakni *biopile*, *bioreaktor*, *windrows* dan *land farming* (Hidayat & Siregar, 2017).

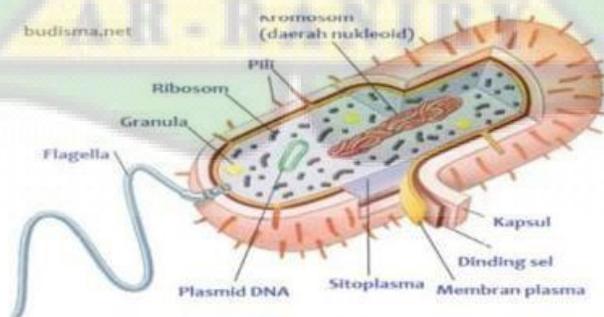
II.4 Bakteri Indigen

Bakteri banyak berperan di lingkungan hidrokarbon limbah. Bakteri yang sesuai metabolik untuk mendegradasi bahan pencemar dan memiliki kemampuan fisiologi. Bakteri mampu beradaptasi pada lingkungan hidrokarbon melalui beberapa cara, yaitu pembentukan bagian hidrofobik pada dinding sel yang dapat meningkatkan afinitas sel terhadap hidrokarbon. Memodifikasi intraselular membran sitoplasmik yang dapat mengurangi toksisitas hidrokarbon terhadap bakteri, dan dihasilkannya surfaktan ekstraselular yang dapat meningkatkan kelarutan hidrokarbon. (Novianty *et al.*, 2020).

Bakteri indigen dikenal sebagai bakteri yang diisolasi dari habitat asalnya, sehingga bakteri indigen dapat berkembang biak dengan baik jika ditumbuhkan pada lingkungan asalnya (Pratiwi & Asri, 2022). Proses penguraian limbah diproduksi oleh bakteri dengan enzim. Enzim ini merupakan enzim yang memiliki kemampuan untuk merombak substrat tertentu yang terkandung dalam suatu limbah dan diekskresi keluar sel. Enzim dapat mempercepat reaksi kimia tanpa ikut mengalami kontaminasi (Suryani & Taupiqurrahman, 2021).

II.4.1 Struktur Sel Bakteri

Struktur bakteri pada umumnya memiliki komponen yaitu dinding sel, struktur membran luar, membran sitoplasma, sitoplasma, ribosom, mesosom, inklusi sitoplasma (*granula volutin*), kapsul, flagela, dan pili. Struktur bakteri dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Struktur Bakteri (Rahmadina & Febriani, 2017)

Dinding sel bakteri yang berada di luar membran sel memiliki struktur sangat kaku. Dinding sel yang kaku berfungsi untuk mempertahankan bentuk sel serta melindungi dari lisis osmotik. Struktur membran luar hanya terdapat pada bakteri Gram-negatif, yang berfungsi untuk perlindungan kondisi luar sel dan perubahan lingkungan. Struktur membran luar terdiri dari lipopolisakarida (LPS) dan pospolipid (Suryani & Taupiqurrahman, 2021).

Tabel II. 1 Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif (sumber: Boleng D, 2015).

| No | Bakteri Gram Positif | Bakteri Gram Negatif |
|----|--|--|
| 1. | Komponen terbesar adalah peptidoglikan (terdiri 40 lapis rangka dasar <i>murein</i> , meliputi 30-70 % berat kering dinding sel bakteri) | Terdiri dari 3 lapis: Lapisan dalam adalah lapis rangka dasar <i>murein</i> (<i>diaminopemelat</i> , dan tidak mengandung <i>lisin</i>), dan hanya meliputi + 10% dari berat kering dinding sel. Lapisan luar: lipopolisakarida, dan Lipoprotein |
| 2. | Terdapat asam teikoat | Tidak ada asam teikoat |
| 3. | Peptidoglikan mengalami lisis oleh lisozim | Lisozim melunakkan dinding sel |
| 4. | Dinding sel tebal, 25-30 nm, Menyerap pewarna dasar violet). | Dinding sel tipis, 10-15 nm, Tidak begitu menyerap pewarna dasar, namun dengan pewarnaan safranin (merah) |
| 5. | Lebih rentan terhadap Penicilin | Kurang rentan |

Kokoh dan kuatnya dinding sel bakteri, karena adanya lapisan peptidoglikan pada struktur dinding sel. Peptidoglikan terdiri dari tiga bagian yaitu N-asetilsamomycosamin (AGA), asam N-asetilmuramik (AAM), dan peptida yang tersusun dari empat atau lima asam amino, yaitu L-alanin, D-alanin, asam D-glutamanic dan lisin (stil acidinopimelate). Dinding sel bakteri Gram-positif mempunyai lapisan peptidoglikan yang lebih besar dari dinding sel bakteri Gram-

negatif (Boleng D, 2015).

Membran sitoplasma terdapat di bawah lapisan dinding sel pada bakteri Gram-positif dan negatif. Membran sitoplasma mempunyai struktur lapisan tipis yang melapisi permukaan dalam dinding sel yang memisahkannya dari sitoplasma. Membran sitoplasma ini berfungsi sebagai membran semi-permeabel yang mengendalikan masuk dan keluarnya metabolit dari protoplasma (komponen pada sel terdiri dari biomolekul seperti asam nukleat, protein, lipid, dan karbohidrat) (Koentjoro & Prasetyo, 2020).

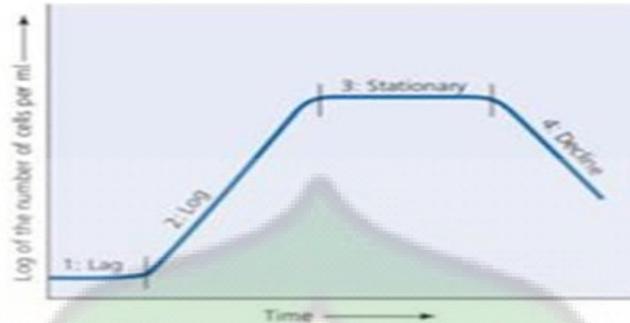
Membran sitoplasma, memiliki beberapa fungsi, yaitu transportasi elektron dan fosforilasi oksidatif, permeabilitas selektif dan transportasi larutan, pengangkutan eksozim hidrolitik, bertindak sebagian tempat enzim dan molekul pembawa yang berfungsi dalam dalam biosiklitis DNA, polimer dinding sel dan lipid membran. (Boleng D, 2015). Inklusi sitoplasma (*granula volutin*) adalah bagian agregat polimer yang dihasilkan dari kelebihan nutrisi di lingkungan. Bagian ini berperan sebagai penyimpanan cadangan fosfat, dan granula sulfur. Butiran volutin merupakan polimetaposfat yang merupakan cadangan energi dan fosfat sebagai metabolisme sel. Kapsul berada pada lapisan luar bakteri yang mengelilingi sel, kapsul mengandung polisakarida (Koentjoro & Prastyo, 2020).

Flagela merupakan protein yang berbentuk rambut panjang seperti filamen spiral (*heliks*) dengan panjang dan diameter yang sama. Flagela tersusun dari 3 bagian yakni filamen, *hook* (sudut), dan bagian dasar tubuh yang berasal dari membran sitoplasma, fungsi dari flagela sebagai peningkat motilitas sel bakteri. Sedangkan pili adalah faktor virulensi. Faktor virulensi merupakan hal yang dapat meningkatkan patogenitas suatu organisme serta memungkinkannya untuk berkolonisasi, seperti kemampuan menempel (*adhesi*), toksin, enzim, dan faktor lain. Fungsi dari pili sebagai mengikatkan sel ke sek inang, tranfer DNA, pembentukan biofilm pemisahan sel, dan motilitas. Sex-pili berperan pada konjungsi sel (Suryani & Taufiqurrahman, 2021).

II.4.2 Fase Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri terdiri dari beberapa fase yaitu, fase adaptasi, logaritmik,

stasioner dan kematian. Fase pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Grafik Fase Pertumbuhan Bakteri (Sumber : Cappucino J & Sherman, 2014)

Fase adaptasi (*lag phase/initial stationary phase*) merupakan fase pertama yang menunjukkan jumlah mikroorganisme masih dalam keadaan beradaptasi atau dapat diartikan bahwa pada fase ini mikroorganisme baru mengalami proses inokulasi. Fase adaptasi mungkin berjalan lambat, karena beberapa hal yaitu, mutan yang baru terbentuk, kultur baru dipindahkan dari medium yang kaya nutrisi ke medium yang kandungan nutrisinya terbatas (Boleng D, 2015). Fase kedua yaitu fase logaritmik (*growth phase/logarithmic growth phase*) fase dengan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme mulai laju seiring dengan waktu generasi mikroorganisme tersebut. Kecepatan pertumbuhan menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam kondisi stabil dengan waktu yang tetap (Rini & Rochmah, 2020).

Fase ketiga yaitu fase pertumbuhan tetap (*stationary phase/maximum stationary phase*) jumlah bakteri pada fase ini hidup tetap seimbang dan bakteri yang mati sama dengan pertumbuhan bakteri, fase ini disebut juga dengan fase stasioner pada fase ini tidak terjadi penambahan bakteri karena jumlah sel yang tumbuh dan sel yang mati berjumlah sama (Rini & Rochmah, 2020). Ukuran sel bakteri lebih kecil, karena sel tetap membelah meskipun kurangnya nutrisi (Boleng D, 2015). Fase terakhir fase menuju kematian (*phase of accelerated death*) jumlah bakteri berkurang dan mengalami peningkatan kecepatan sehingga terjadi kematian. Sel-sel akan mengalami kematian dengan cepat dan konstan, disebabkan energi

cadangan di dalam sel sudah habis dan peningkatan zat-zat toksik yang akan meracuni sel bakteri (Boleng D, 2015).

II.4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan sel bakteri, yaitu nutrisi. Bakteri memerlukan nutrisi seperti karbon, unsur logam (Na, Ca, Mg, Fe, Pb dan sejenisnya), nitrogen, belerang (sulfur) dan air. Nutrien ini masuk ke dalam sel bakteri melalui proses difusi pasif, sehingga nutrisi dapat masuk dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah (Koentjoro & Prasetyo, 2020).

Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh air yang dibutuhkan untuk perkembangan sel. Air bermanfaat untuk sel bakteri untuk mengisi sitoplasma sel yang diperlukan sebagai bahan reaktan dalam reaksi biokimiawi sel bakteri. Pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh kondisi keasaman (pH), umumnya bakteri tumbuh pada pH 6,5 – 7,5. (Boleng D, 2015).

Faktor selanjutnya yaitu pengaruh suhu sangat berpengaruh pada ketahanan struktur sel bakteri dan pada kerja enzim. Berdasarkan suhu pertumbuhannya, bakteri dapat dikelompokkan menjadi, bakteri *psikofilik*, bakteri *mesofilik*, dan bakteri *termofilik*. Bakteri *psikofilik* dengan suhu pertumbuhannya -5-30 °C, dengan suhu optimum 10-20 °C. Bakteri *mesofilik* suhu pertumbuhannya 10-45 °C, dengan suhu optimum 20-40 °C. Bakteri *termofilik* suhu pertumbuhannya 25-80 °C, dengan suhu optimum 50-60 °C. Bakteri yang memiliki spora biasanya tahan terhadap perlakuan suhu tinggi (*termofilik*) (Suryani & Taufiqurrahman, 2021).

Tersedianya oksigen (O₂) juga mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Kebutuhan bakteri pada oksigen, bakteri dapat dibedakan menjadi lima kelompok, yaitu bakteri *mikroaerofilik*, bakteri *anaerob obligat*, bakteri *anaerob aerotoleran*, bakteri *fakultatif* dan bakteri *obligat*. Bakteri *mikroaerofilik* dapat tumbuh baik dibawah tekanan oksigen yang rendah, dan pada keadaan yang tekanan oksigennya tinggi akan menghambat pertumbuhan bakteri *mikroaerofilik*. Bakteri *anaerob obligat* merupakan bakteri yang tumbuh dalam kondisi tanpa oksigen. bakteri *anaerob aerotoleran*, merupakan bakteri yang tidak dapat terbunuh dengan oksigen. Bakteri *fakultatif* kelompok bakteri yang mampu tumbuh baik dalam keadaan ada

oksigen maupun tidak ada oksigen. Bakteri *aerob obligat* kelompok bakteri yang selalu membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya (Boleng D, 2015).

II.4.4 Mekanisme Resistansi Bakteri terhadap Logam Besi (Fe)

Bakteri mampu menghasilkan senyawa pengkleat logam berupa ligan berat molekul rendah yang disebut siderofor. Umumnya pengkhelatan logam berat oleh bakteri adalah sebagai mekanisme bakteri untuk mempertahankan diri terhadap toksisitas logam. Siderofor dapat membentuk kompleks dengan logam-logam termasuk logam berat. Bakteri yang mampu bertahan terhadap toksisitas logam berat. Bakteri yang tahan terhadap toksisitas logam berat mengalami perubahan sistem transport dalam membran selnya, sehingga terjadi pengurangan logam yang masuk dalam sitoplasma. Logam yang tidak mampu melewati membran sel akan terakumulasi dan diserap di permukaan sel (Suryani & Taufiqurrahman, 2021).

Bakteri dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati untuk melakukan bioremediasi sebab bakteri akan mencari cara untuk bertahan hidup, salah satunya dengan mekanisme bioakumulasi dan atau bioadsorpsi (Irawati *et al.*, 2017). Sebagian besar mekanisme untuk penyisihan logam berat dengan mikroorganisme merupakan proses pertukaran ion yang mirip dengan pertukaran ion dalam resin. Mekanisme pertukaran ion ini dapat diformulasikan sebagai: $A^{2+} + (\text{biomassa B}) \rightarrow B^{2+} + (\text{biomassa A})$. Berdasarkan posisi logam berat dapat dibagi menjadi akumulasi ekstraseluler (presipitasi), akumulasi intraseluler dan penyerapan oleh permukaan sel. Mekanisme yang terakhir didasarkan pada cara penyerapan logam berat (Adhani & Husaini, 2017).

Metode pengambilan (penyerapan) logam berat dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu *passive uptake*, dimana proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme *passive uptake* dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion dimana ion pada dinding sel digantikan oleh ion logam berat dan yang kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion logam berat dan gugus fungsional seperti *karbonil*, *amino*, *tiol*, *hidroksi*, *fosfat* dan *hidroksi-karboksi* secara bolak-balik (Rahmaningsih, 2017). Cara kedua pengambilan (*absorpsi*) logam berat yaitu *active uptake* mekanisme masuknya

logam berat melalui membran sel sama pada proses masuknya logam esensial melalui sistem transportasi membran, hal ini disebabkan oleh kesamaan sifat antara logam berat dan logam esensial dalam hal sifat fisik kimia umum. Proses penyerapan aktif dalam mikroorganisme dapat berlangsung secara paralel dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi ion logam intraseluler (Adhani & Husaini, 2017).

Reaksi enzimatik merupakan proses yang dilalui oleh bakteri indigen dalam menguraikan bahan organik, seperti penguraian limbah yang dilakukan oleh enzim yang berasal dari bakteri. Enzim mampu merombak substrat tertentu yang terkandung pada limbah tersebut. Selain itu, enzim juga memiliki kemampuan mempercepat reaksi kimia tanpa ikut mengalami kontaminasi. Proses bioakumulasi merupakan proses yang terjadi ketika logam besi memasuki membran sel melalui sulfat channel yang berada pada dinding sel bakteri yang menyebabkan reaksi spontan dengan *reduktan intraseluler* mampu mengubah besi toksik menjadi besi *intermediet* (Rini & Rochmah, 2020).

II.4.5 Isolasi dan Identifikasi Bakteri

Pemisahan bakteri diperlukan untuk mempelajari dan mengetahui jenis kultural, morfologi, fisiologi dan karakteristik. Teknik pemisahan bakteri disebut dengan isolasi yang disertai dengan pemurnian. Isolasi adalah suatu proses mengambil bakteri dari lingkungan atau media asalnya yang akan ditumbuhkan pada media buatan yang akan memperoleh biakan yang murni (Sabbathini *et al.*, 2017).

Mekanisme kultivasi (penanaman) yang dapat dilakukan untuk memperoleh kultur murni, yaitu dengan metode tuang (*pour plate*), metode goresan (*streaking method*), dan metode sebar (*spread plate*) (Boleng, 2015). Teknik tuang (*pour plate*) dengan cara mencampur suspensi bakteri dengan medium agar. Proses ini bertujuan untuk mengetahui bakteri yang berhasil hidup dalam suatu lingkungan (Mikdarullah & Nugraha, 2017).

Teknik penggoresan (*streak*) dilakukan dengan menggoreskan jarum ose dengan bakteri di dalamnya ke permukaan media kultur. Hal ini agar koloni tunggal

yang terbentuk tidak tumbuh bersamaan dengan isolat lainnya. Teknik sebar (*spread plate*) proses isolasi bakteri dimulai dari pengenceran sampel, kemudian dilanjutkan dengan proses penuangan media ke dalam cawan petri dan diratakan dengan batang L (Ardhiansyah, 2020). Keunggulan metode tuang adalah dapat digunakan untuk memperoleh biakan murni, sedangkan pada metode cawan sebar dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah bakteri dalam satuan (Damayanti *et al.*, 2020).

Identifikasi bakteri bertujuan untuk menentukan karakteristik khusus yang dimiliki oleh isolat yang diperoleh yang mempunyai karakteristik sama dengan bakteri yang diinginkan. Identifikasi dilakukan dengan identifikasi makroskopis dan identifikasi mikroskopis. Identifikasi bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara masing-masing isolat yang ditemukan dan dapat digunakan sebagai dasar untuk proses identifikasi genus atau spesies bakteri dengan pengujian lebih lanjut (tes molekuler dan tes biokimia) (Rahadi *et al.*, 2019).

Pengamatan makroskopik dilakukan untuk mengamati karakteristik koloni bakteri yang sudah diinokulasi pada media NA datar berdasarkan bentuk koloni yang dilihat dari atas berupa bulat (*circulair*), tenang (*filamentus*), serupa akar (*rizoid*), serupa kumparan (*spindele*), dan tidak beraturan (*irregular*). Pengamatan permukaan/elevasi koloni (dilihat dari samping): datar, timbul melengkung, timbul datar dan membukit. Pengamatan tepi koloni (dilihat dari atas) yaitu bergerigi (*serrate*), berbenang (*filamentus*), berbentuk utuh (*entire*), berombak (*lobate*), keriting (*undunate*). Pengamatan warna koloni, yaitu kelabu, keputih-putihan, hampir bening atau kekuning-kuningan (Cappucino J & Sherman, 2014).

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan November sampai bulan Desember 2022 di Laboratorium Mikrobiologi Gedung Multifungsi UIN Ar-raniry Banda Aceh.

III.2 Jenis dan Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kualitatif untuk melihat dan mengidentifikasi keberadaan bakteri indigen pada limbah lindi dan metode kuantitatif digunakan untuk menghitung zona hambat yang terbentuk dari resistensi bakteri indigen terhadap logam besi (Fe).

III.3 Alat dan Bahan Penelitian

III.3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah botol sampel, tabung reaksi, erlenmeyer, cawan petri, bunsen, *Laminar Air Flow* (LAF), inkubator, oven, mikropipet, *shaker inkubator*, *bluetipe*, spatula, *hotplate*, autoklaf, jarum ose, pH indikator, gelas ukur, termometer, stirer, kuvet, gelas beker, kaca objek, kaca benda, kaca penutup, mikroskop, vortex, jangka sorong dan alat tulis.

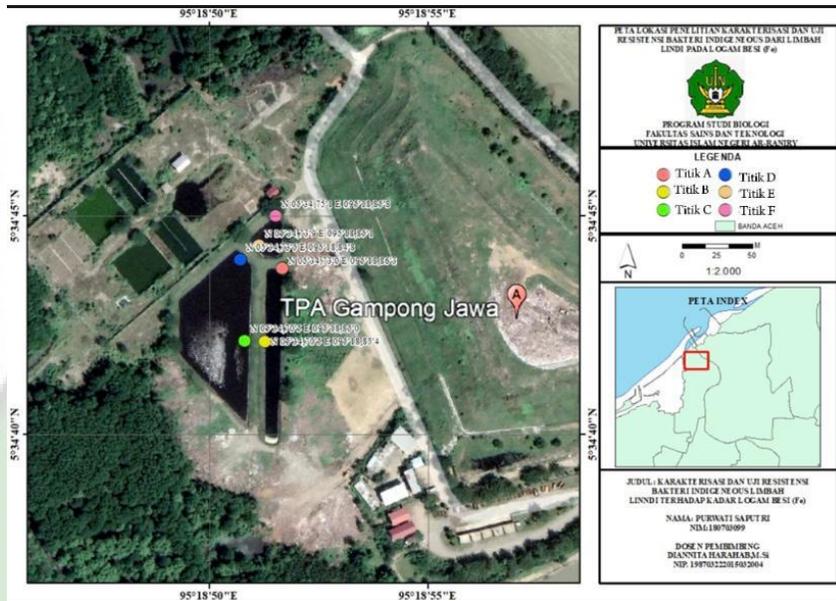
III.3.2 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel limbah lindi, FeSo₄, spiritus, media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrien Broth* (NB), media *Muller Hinton Agar* (MHA), media *Sulfida Indol Moility* (SIM), media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), media Simon Citrat Agar miring, H₂O₂ 30%, alkohol 70%, aquades, pewarnaan Gram, kapas, kasa, kertas label, *tissue*, kertas cakram, kertas hisap, plastik *wrapping*, *reagen covac's*, *alfa nathol*, plastik sterilisasi, sarung tangan, NaCL, safranin, iodin, KOH, minyak imersi, dan *cristal violet*.

III.4 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling* atau sesaat.

Pengambilan sampel diambil pada 6 titik limbah lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gampong Jawa, Kecamatan Kutaraja, Kota Banda Aceh.



Gambar III.1 Lokasi Penelitian (Sumber: QGIS)

Pengambilan sampel pada kolam 1 dengan ukuran kolam garis keliling 260 m dan luas 1.233 m³ diambil 2 titik sampel, koordinat titik sampel A N:05⁰34.730' E: 095⁰18.863', titik koordinat sampel B N:05⁰34.705' E: 095⁰18.854'. Kolam 2 memiliki ukuran garis keliling 284 m dengan luas 4.028 m³ diambil 2 titik sampel, sampel C dengan titik koordinat N: 05⁰34.705' E: 095⁰18.850'. Sampel D dengan titik koordinat N: 05⁰34.739' E: 095⁰18.848'. Kolam 3 dengan ukuran kolam 82,3 m dengan luas 430 m³ diambil 2 titik sampel, sampel E dengan titik koordinat N:05⁰34.739' E: 095⁰18.851, sampel F dengan titik koordinat N: 05⁰34.751' E: 095⁰18.848'. Sampel yang diambil sebanyak 300 ml dari masing-masing sampel, setelah itu dimasukkan ke dalam botol sampel steril. Setelah itu sampel dibawa ke laboratorium untuk selanjutnya dilakukan proses isolasi dan identifikasi bakteri.

III.4.1 Karakteristik Air Lindi

Uji parameter pengukuran derajat keasaman (pH), dan temperatur (suhu) langsung dilakukan di lokasi pengambilan sampel (Sari & Afdal, 2017). Pengukuran pH dilakukan dengan mencelupkan pH meter ke dalam sampel dan dicatat nilai pH

yang terbaca dan dilakukan tiga kali pengulangan. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termometer. Dilakukan dengan mencelupkan termometer dicatat nilai yang terbaca dan dilakukan tiga kali pengulangan.

III.5. Isolasi Bakteri Indigen dari Limbah Lindi

Limbah lindi yang telah diambil sebanyak 10 ml diencerkan dengan 9 ml aquades, selanjutnya dihomogenkan dengan *vortex* sehingga mendapatkan pengenceran 10^{-1} . Diambil 1 ml sampel pengenceran 10^{-1} ditambahkan ke dalam tabung reaksi berisi aquades 9 ml sehingga mendapatkan pengenceran 10^{-2} , diambil 1 ml pengenceran 10^{-2} ditambahkan ke tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades steril sehingga mendapatkan pengenceran 10^{-3} , pengenceran pada tahap ini dilakukan secara bertingkat yaitu 10^{-1} sampai 10^{-4} (Garcete, *et al.*, 2022).

Isolasi dilakukan dengan metode sebar dengan menambahkan air lindi dari pengenceran 10^{-2} , 10^{-3} , dan 10^{-4} . Diambil 1 ml air lindi dari pengenceran 10^{-2} , kemudian dituangkan pada media NA yang diperkaya logam besi (Fe) FeSO_4 5 ppm, diaduk rata menggunakan batang L dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Hal ini juga dilakukan pada pengenceran 10^{-3} , dan 10^{-4} . Perlakuan ini untuk melihat bakteri indigen yang tumbuh pada lingkungan yang mengandung logam besi (Fe) 5 ppm.

III.6 Pemurnian Bakteri

Sebelum melakukan pemurnian bakteri, diamati terlebih dahulu beberapa jenis koloni yang tumbuh pada cawan petri yang telah diinkubasi selama 24 jam. Setelah itu, setiap jenis koloni yang tumbuh, kemudian diinokulasikan pada media Na cawan petri baru menggunakan jarum ose dengan teknik goresan T, yang bertujuan untuk melihat koloni tunggal. Untuk mendapatkan koloni tunggal dipanaskan jarum ose terlebih dahulu di atas bunsen hingga memijar dan diangin-anginkan. Setelah itu, ambil satu induk bakteri dan goreskan pada media agar Fe 5 ppm. Kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 24 jam. Cawan petri yang ditumbuhi bakteri tunggal dilakukan *streak plate* pada agar miring untuk kultur bakteri (Cappucino & Sherman, 2014).

III.7 Karakterisasi Bakteri

III.7.1 Identifikasi Secara Makroskopis

Pengamatan makroskopis berfungsi untuk mengamati karakteristik koloni bakteri hasil dari inokulasi pada media NA pengamatan makroskopis meliputi pengamatan bentuk koloni (dilihat dari atas) tak teratur (*irregular*), berupa bulat (*circulair*), serupa kumparan (*spindel*), berbenang (*filamentus*), serupa akar (*rhizoid*), serupa kumparan (*spindle*). Permukaan koloni/elevasi (dilihat dari samping): membukit (*umbonate*), rata (*flat*), timbul-datar (*raised*), timbul-melengkung (*convex*). Tepi koloni (dilihat dari atas): utuh (*entire*), berombak (*lobate*), bergerigi (*serrate*), berbenang (*filamentus*), keriting (*undunate*). Warna koloni: hampir bening, keputih-putihan, kelabu, kekuning-kuningan (Cappucino & Sherman, 2014).

III.7.2 Identifikasi Secara Mikroskopis

a. Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram bertujuan untuk mengidentifikasi bakteri berdasarkan kemampuan penyerapan dinding sel terhadap penyerapan zat warna. Isolat bakteri pada media NA diambil menggunakan jarum ose secara aseptis lalu disuspensikan pada kaca benda yang sudah ditetesi NaCl. Preparat difiksasi di atas api bunsen sampai kering, lalu ditetesi menggunakan kristal violet, kemudian didiamkan selama 3 menit dan dicuci dengan aquades secara mengalir kemudian diangin-anginkan. Preparat ditetesi larutan iodin kemudian didiamkan selama 1 menit, dicuci dengan aquades secara mengalir dan dikeringkan. Hasil dari preparat yang kering, setelah itu ditetesi larutan alkohol 70% dan didiamkan selama 30-45 detik. Kemudian preparat dicuci menggunakan aquades secara mengalir. Preparat ditetesi safranin dan diratakan, lalu preparat didiamkan selama 3 menit dan dicuci menggunakan aquades secara mengalir. Preparat ditunggu hingga mengering kemudian ditetesi minyak imersi dan diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 100x. Uji pewarnaan Gram, hasil positif ditandai dengan adanya warna ungu pada bakteri dan negatif ditandai dengan adanya warna merah (Cappucino & Sherman, 2014).

b. Pewarnaan Endospora

Uji pewarnaan endospora dilakukan dengan cara menyiapkan kaca benda, kemudian ditetesi aquades. Setelah itu diambil satu ose bakteri dan disebar pada kaca benda dan difiksasi dengan api kecil. Kemudian ditetesi malachite green dan dibiarkan diatas pemanas selama 2-3 menit, setelah itu dibilasdengan aquades dan dikeringkan. Kemudian ditetesi larutan safranin dan didiamkan selama 30 detik setelah itu dibilas dengan aquades dan dikeringkan. Kemudian diamati dibawah mikroskop (Cappucino & Sherman, 2014).

III.7.3 Uji Biokimia

Uji biokimia dimanfaatkan untuk mengetahui mengidentifikasi dan mendeterminasi suatu biakan murni bakteri melalui sifat-sifat biologisnya (Cappucino & Chad, 2018).

a. Uji Indol

Isolat bakteri kultur murni diambil 1 ose dan diinokulasi pada media MIO (Motility Indol Ornithin) dengan ditusukan isolat bakteri pada media tepat ditengah secara lurus. Media selanjutnya diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam, lalu diamati. Kemudian media ditetesi 4 tetes reagen Kovac dan didiamkan selama 20-60 menit untuk mengetahui uji indol dan ornithin. Kemudian diamati, hasil positif pada uji ini: motil (+) adanya koloni yang menyebar, indol (+) adanya lapisan cincin merah antara media dan reagen, ornithin (+) media berubah menjadi warna ungu, ornithin (-) media berubah menjadi warna kuning.

b. Uji MR (*Methyl Red*) dan VP (*Voges Proskauer*)

Uji MR (*Methyl Red*) digunakan untuk mengetahui adanya fermentasi asam campuran (metilen glikon). Sedangkan, uji VP (*Voges Proskauer*) untuk mengetahui pembentukan asetil metil karbonil (asetoin) dari hasil fermentasi glukosa. Media yang dipakai media pepton glukosa phospat. Isolat bakteri pada media NA diambil menggunakan jarum ose yang telah dipanaskan hingga merah berpijar dan didiamkan beberapa saat. Kemudian, dimasukkan satu koloni ke dalam tabung reaksi, kemudian diaduk dan ditarik turunkan ose hingga koloni tercampur. Sampel

diinkubasi selama 24 jam. Hasil positif pada uji MRVP yaitu terbentuknya warna merah pada media setelah ditambahkan indikator methyl red untuk MR bakteri menghasilkan asam campuran (metilen glikon) dari proses fermentasi glukosa yang terkandung pada media MR dan KOH 40% + alfa naftol 5% untuk VP hasil akhir fermentasi bakteri adalah asetil metil karbinon (asetoin).

c. Uji Urease

Untuk mengetahui apakah bakteri memiliki enzim urease yang dapat menguraikan urea membentuk amoniak. Isolat bakteri pada media NA diambil menggunakan jarum ose yang telah dipanaskan hingga merah berpijar dan didiamkan beberapa saat. Kemudian diinokulasikan ke dalam media urea, lalu diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Hasil positif ditandai dengan adanya perubahan warna media dari kuning menjadi merah muda sangat pekat. Hasil negatif tidak terjadi perubahan warna media menjadi merah muda.

d. Uji TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*)

Isolat bakteri diambil menggunakan jarum ose. Kemudian, koloni bakteri pada media NA diambil, dan digoreskan pada permukaan media di bagian lereng, selanjutnya media TSIA ditusuk menggunakan jarum ose secara lurus tepat di tengah media. Media kemudian diinkubasi dengan suhu 37 °C selama 24 jam. Hasil positif ditandai dengan adanya perubahan warna pada media menjadi kuning dan terbentuknya gas H₂S sehingga media terangkat ke atas dan media menjadi warna hitam.

e. Uji Katalase

Uji katalase digunakan untuk mengidentifikasi kelompok bakteri yang dapat menghasilkan enzim katalase. Uji ini dilakukan dengan cara meneteskan hidrogen peroksida (H₂O₂) pada gelas objek yang sudah dioleskan bakteri dengan ose. Hasil positif ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara.

f. Uji Sitrat (Simmon)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah bakteri menggunakan nitrat sebagai sumber karbon. *Citrate Agar Coloni* pada media NA diambil menggunakan jarum ose yang telah difiksasi hingga berpijar, kemudian didiamkan beberapa menit, selanjutnya digoreskan pada permukaan media sitrat (lereng media). Media kemudian diinkubasi dengan suhu 37 °C selama 24 jam. Hasil positif pada uji ini ditandai dengan adanya warna biru pada media.

g. Uji Motilitas

Media yang dipakai merupakan media yang bersifat semi solid dengan kandungan agar-agar 0.2-0.4%. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gerak bakteri, bisa memakai media MO (*Motilitas Ornitin*) atau SIM (*Sulfida Indol Motility*). Pada media SIM selain untuk melihat motilitas bisa juga untuk pembentukan H₂S dan test indol. Hasil negatif (-) terlihat adanya penyebaran yang berwarna putih akar hanya pada bekas tusukan inokulasi. Hasil positif (+) terlihat adanya penyebaran berwarna putih seperti akar di sekitar inokulasi. Hal ini menunjukkan adanya pergerakan dari bakteri yang diinokulasikan memiliki flagel.

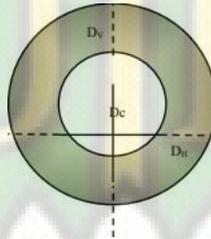
III.8 Uji Resistansi Bakteri Indigen pada Logam Besi (Fe)

Uji resistansi bakteri indigen dilakukan dengan metode cakram (*disc diffusion*) menggunakan kertas cakram yang direndam dalam larutan logam besi (Fe) dengan tingkat konsentrasi 10 ppm, 15 ppm dan 20 ppm dan aquades sebagai pengontrol. Setelah didapatkan beberapa isolat murni, lalu bakteri diinokulasikan ke dalam medium *Muller Hinton Agar* (MHA). Selanjutnya, cakram (*disc*) yang telah direndam pada larutan yang diperkaya logam besi (Fe) FeSO₄ berbagai konsentrasi yakni 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm diletakkan secara aseptis di dalam medium yang telah berisi inokulum tersebut diinkubasikan selama 24 jam pada suhu 37°C, dan diukur zona bening menggunakan jangka sorong digital (Imron *et al.*, 2021).

Resistensi logam besi (Fe) dapat ditunjukkan dengan mengamati zona bening di luar kertas cakram yang ditunjukkan tidak ditumbuhi mikroorganisme. Setelah 24

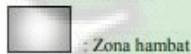
jam inkubasi peletakan cakram dan penanaman bakteri. Interpretasi zona hambat yang dihasilkan bakteri dikatakan resistan terhadap logam berat jika hasil pengukuran zona hambat pada pengujian metode difusi cakram sebesar ≤ 1 mm (Ulfa *et al.*, 2016). Pengamatan dan perhitungan luas zona transparan dilakukan dengan cara mengukur luas daerah transparan dibentuk di pinggiran yang diletakkan kertas cakram dilakukan 2x pengukuran yaitu secara vertikal dan horizontal, kemudian hasil yang diperoleh dibagi dua untuk mendapatkan rata-rata seperti pada rumus yang telah ditentukan (Melisa *et al.*, 2015).

$$Zh = \frac{(Dv - Dc) \times (Dh - Dc)}{2}$$



Gambar II.3 Pengukuran Diameter Zona Hambat (Sumber: Melisa *et al.*, 2015)

Keterangan :



- Zh : Zona Hambat
 Dv : Diameter Vertikal
 Dh : Diameter Horizontal
 Dc : Diameter Cakram

III.9 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Salah Satu Isolat

Pengukuran kurva pertumbuhan isolat di ambil isolat yang resistensi logam besi (Fe) dengan nilai zona hambat paling rendah. Kurva pertumbuhan isolat menggunakan medium Nb (*Nutrient broth*) yang terpapar logam besi (Fe) digunakan untuk mengetahui kemampuan hidup (*viabilitas*) isolat pada medium yang terpapar logam besi (Fe). Sebelum pembuatan kurva pertumbuhan, dilakukan pembuatan

kultur stater dalam dua tahapan. Tahap pertama kultur stater I satu ose isolat 10^8 *CFU/ml* yang paling resistan terhadap logam besi (Fe) diinokulasikan secara aseptis ke dalam medium NB 10 ml diinkubasi selama 24 jam, pada suhu ruang diatas *rotary shaker* (100 rpm). Selanjutnya kultur stater tahap II bakteri yang diinkubasi selama 24 jam sebanyak 10 ml diinokulasikan secara aseptis kedalam erlenmeyer berisi medium NB 90 ml dengan penambahan konsentrasi logam besi (Fe) yang digunakan untuk uji viabilitas 10, 15 dan 20 ppm Fe-*Nutrient broth*. Untuk kontrol tidak ditambahkan logam besi (Fe). Setiap 6 jam sebanyak 1,5 ml kultur diambil dan dimasukkan ke dalam kuvet kemudian di ukur nilai *Optical Density* (OD) nya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang (λ) 600 nm. Pengukuran OD dimulai dari jam ke-0 sampai jam ke 48. Data OD yang didapatkan kemudian dibuat kurva pertumbuhan dengan sumbu x sebagai waktu (t) dan sumbu y sebagai nilai OD (Farisna & Zulaikha, 2016).

III.10 Analisis Data

Data yang diperoleh pada penelitian ini menggunakan metode data kualitatif dan data kuantitatif. Analisis data secara kualitatif dilakukan secara deskriptif yaitu berdasarkan jumlah isolat dan karakteristik morfologi bakteri indigen dari limbah lindi baik secara makroskopik dan secara mikroskopik yang disajikan dalam bentuk gambar. Sedangkan data kuantitatif dianalisis berdasarkan dari pengukuran zona hambat/zona bening hasil dari uji resistansi bakteri indigen terhadap logam besi (Fe).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

IV.1.1 Karakterisasi Bakteri Indigen Limbah Lindi

Hasil pengukuran faktor lingkungan pada masing-masing kolam sampel limbah lindi di TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh, maka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel IV.1 Nilai Rata-rata Faktor Lingkungan pada Masing-masing Kolam Sampel Limbah lindi di TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh

| Titik Sampel | Titik A | Titik B | Titik C | Titik D | Titik E | Titik F |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Suhu (°C) | 26°C | 26°C | 26°C | 26°C | 26°C | 26°C |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

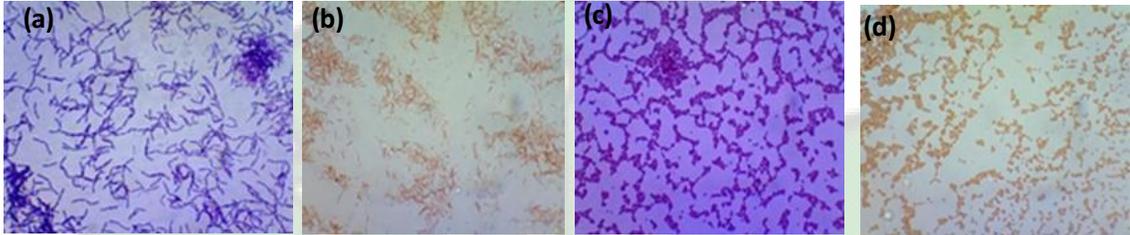
Sampel limbah lindi di TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh memiliki suhu 26 °C dan nilai pH 7 seperti pada Tabel IV.1. kemudian sampel ditumbuhkan pada media NA yang mengandung logam besi (Fe) 5 ppm sehingga memperoleh koloni-koloni bakteri indigen yang diamati karakteristiknya. Hasil pengamatan karakteristik makroskopis diperoleh 27 isolat bakteri yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda seperti pada Tabel IV.2 Karakteristik Bakteri Indigen Limbah Lindi di TPA Gampong Jawa.

Tabel IV.2 Karakteristik Bakteri Indigen Limbah Lindi di TPA Gampong Jawa

| Kode Isolat | Bentuk | Warna | Tepi | Elevasi | Ukuran Isolat |
|-------------|-----------------|---------------|-----------|--------------|---------------|
| LA1 | Bulat | Kuning | Rata | Cembung | 1,20 mm |
| LA2 | Bulat | Putih-krim | Rata | Cembung | 0,90 mm |
| LA3 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Cembung | 1,12 mm |
| LB1 | Titik-titik | Putih-krim | Rata | Cembung | 1,70 mm |
| LB2 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Cembung | 0,95 mm |
| LB3 | Rizoid | Putih-krim | Berbenang | Cembung | 1,20 mm |
| LB4 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Cembung | 1,16 mm |
| LB5 | Bulat | Coklat muda | Berombak | Cembung | 0,90 mm |
| LB6 | Bulat | Kuning pekat | Rata | Cembung | 0,96 mm |
| LC1 | Bulat | Putih-krim | Rata | Cembung | 1,30 mm |
| LC2 | Bulat | Putih-krim | Rata | Cembung | |
| LC3 | Bulat | Coklat muda | Berombak | Cembung | 1,87 mm |
| LC4 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berbenang | Timbul datar | 1.11 mm |
| LC5 | Bulat | Putih-krim | Berombak | Cembung | 0,90 mm |
| LD1 | Bulat | Putih-krim | Berombak | Datar | 1,80 mm |
| LD2 | Bulat | Putih-krim | Rata | Cembung | 0,70 mm |
| LD3 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Cembung | 0,70 mm |
| LD4 | Tidak Beraturan | Kuning | Berombak | Cembung | 0,70 mm |
| LE1 | Bulat | Putih-krim | Rata | Cembung | 0,95 mm |
| LE2 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Datar | 1,25 mm |
| LE3 | Bulat | Coklat muda | Berombak | Cembung | 0,70 mm |
| LE4 | Bulat | Kuning terang | Rata | Cembung | 0,80 mm |
| LF1 | Tidak Beraturan | Putih-krim | Berombak | Cembung | 0,98 mm |
| LF2 | Tidak Beraturan | Kuning | Berombak | Cembung | 1,40 mm |
| LF3 | Titik-titik | Putih-krim | Rata | Cembung | 0,90 mm |
| LF4 | Bulat | Kuning | Rata | Cembung | 0,98 mm |
| LF5 | Bulat titik | Putih-krim | Rata | Datar | 1,20 mm |

(Keterangan :LA, LB,...LF = Titik sampel limbah Lindi

Setelah dilakukan pengamatan secara makroskopis terhadap 15 isolat tersebut kemudian dilanjutkan dengan pengamatan mikroskopis yang berupa uji pewarnaan Gram, pewarnaan endospora dan uji biokimia. Hasil pewarnaan Gram yang dilakukan pada 27 isolat bakteri indigen didapatkan Gram positif dan Gram negatif, sedangkan bentuk selnya didapatkan bentuk batang dan bulat. Gambar pewarnaan Gram bakteri indigen dapat dilihat pada Gambar IV.1:



Gambar IV.1. (a) Bentuk Sel Batang Gram Positif (b) Bentuk Sel Batang Gram Negatif (c) Bentuk Sel Bulat Gram Positif (d) Bentuk Sel Bulat Gram negatif

Setelah dilakukan uji pewarnaan Gram dilakukan uji biokimia yang dilakukan berupa uji indol, motilitas, MR, VP, urease, simon sitrat, katalase dan TSIA. Berikut pengamatan mikroskopis pada ke-27 isolat bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh dapat dilihat pada tabel tabel IV.3:

Tabel IV.3 Hasil Uji Mikrokopis Bakteri Indigen Limbah Lindi

| Kode Isolat | Bentuk Sel | Gram | Indol | Motil | MR | VP | Urease | TSIA | Sitrat | Katalase |
|-------------|------------|------|-------|-------|----|----|--------|------|--------|----------|
| LA1 | Bulat | + | + | - | + | + | + | A/A | - | + |
| LA2 | Bulat | + | - | - | + | + | + | K/A | - | + |
| LA3 | Bulat | - | - | - | + | - | + | K/K | - | + |
| LB1 | Batang | - | - | + | - | - | - | K/K | + | + |
| LB2 | Bulat | - | - | - | + | - | + | K/K | - | + |
| LB3 | Batang | + | - | - | - | - | - | K/K | + | + |
| LB4 | Batang | + | - | - | - | - | - | K/K | + | + |
| LB5 | Bulat | - | - | - | - | - | + | A/K | + | + |
| LB6 | Bulat | + | + | - | + | - | + | A/A | - | + |
| LC1 | Batang | - | + | - | + | - | - | K/K | - | + |
| LC2 | Batang | - | - | + | - | - | - | K/K | + | + |
| LC3 | Bulat | - | - | - | - | - | + | A/K | + | + |
| LC4 | Batang | + | - | + | - | + | - | K/K | - | + |
| LD1 | Batang | - | + | + | + | - | + | K/K | - | + |
| LD2 | Batang | + | - | + | + | + | + | A/K | + | + |
| LD3 | Batang | - | - | + | - | - | - | K/K | + | + |
| LD4 | Bulat | - | - | - | + | - | + | K/K | - | + |

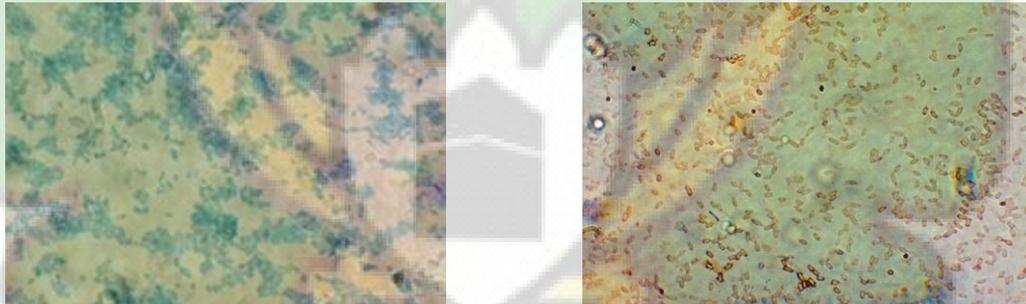
| Kode Isolat | Bentuk Sel | Gram | Indol | Motil | MR | VP | Urease | TSIA | Sitrat | Katalase |
|-------------|------------|------|-------|-------|----|----|--------|------|--------|----------|
| LD5 | Batang | - | - | - | + | - | + | A/A | - | + |
| LE1 | Batang | - | - | + | - | - | - | K/K | + | + |
| LE2 | Batang | - | + | + | + | - | - | K/K | - | + |
| LE3 | Bulat | - | - | - | - | - | + | K/K | + | + |
| LE4 | Bulat | + | - | + | + | - | - | A/A | + | + |
| LF1 | Batang | + | - | + | + | + | - | K/A | + | + |
| LF2 | Bulat | + | + | - | + | + | + | A/A | - | + |
| LF3 | Bulat | - | - | - | + | - | + | K/K | - | + |
| LF4 | Batang | + | - | + | + | + | - | A/K | - | + |
| LF5 | Bulat | + | - | - | + | + | + | K/K | + | + |

Keterangan: LA, LB..., LF (Titik Sampel Lindi) K/K (Kalis/Kalis), K/A (Kalis/Acid), A/A (Acid/Acid), A/K (Acid/Kalis),
+ (Positif) dan - (Negatif)

Tabel IV.4 Hasil karakterisasi genus bakteri indigen dari limbah lindi dari beberapa sumber

| Uji Biokimia | Genus Bakteri | | | | | | | |
|------------------|--|---|---|---|---|--|---|---|
| | <i>Staphylococcus</i> sp. (LA1, LA2, LB6, LF2, LF5) | <i>Neisseria</i> sp. (LA3, LB2, LD3, LF3) | <i>Bacillus</i> sp. (LB6, LB4, LC4, LD1, LF1, LF4) | <i>Acinetobacter</i> sp. (LB3, LC3, LE3) | <i>Escherichia</i> sp. (LC1, LC5, LE2) | <i>Pseudomonas</i> sp. (LB1, LC2, LD1, LE1) | <i>Proteus</i> sp. (LD4) | <i>Micrococcus</i> sp. (LE4) |
| Gram | + | - | + | - | - | - | - | + |
| Bentuk sel | Bulat | Batang | Batang | Bulat | Batang | Batang | Batang | Bulat |
| Glukosa | - | - | +/- | + | - | + | + | + |
| Laktosa | + | - | +/- | - | + | - | - | - |
| Sukrosa | + | + | +/- | - | + | - | - | + |
| Gas | +/- | - | - | - | - | - | - | - |
| H ₂ S | - | - | - | + | - | - | - | - |
| Indol | +/- | - | - | - | + | - | - | - |
| Motilitas | - | - | +/- | - | + | + | + | + |
| MR | + | + | +/- | - | + | - | + | + |
| VP | + | - | +/- | - | - | - | - | - |
| Urease | + | + | - | + | - | - | + | - |
| Sitrat | - | - | - | + | - | + | - | + |
| Katalase | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Endospora | TD | - | + | TD | - | - | - | TD |
| Referensi | Darmawi <i>et al.</i> , (2019); Suarjana & Besung (2020); Pusporini (2016) | Harlis <i>et al.</i> , (2019); Yanti <i>et al.</i> , (2021); Fauziah & Ibrahim (2022) | Karunia <i>et al.</i> , (2021); Farida (2020) | Ajwad (2021); Rohmah (2017) | Sayuti <i>et al.</i> , (2016); Puspita <i>et al.</i> , (2020); Ariyanti (2016). | Syam (2017); Imron <i>et al.</i> , 2020 | Firmansyah <i>et al.</i> , (2021); Kamallia <i>et al.</i> , (2021) | Aulia <i>et al.</i> , (2022); Silalahi <i>et al.</i> , (2020); |

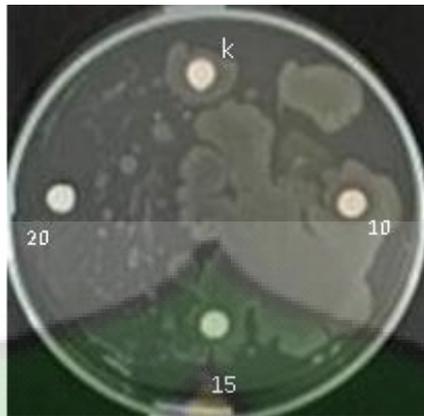
Berdasarkan tabel di atas hasil pewarnaan Gram 27 isolat bakteri indigen didapatkan hasil golongan Gram positif dan golongan Gram negatif. Isolat bakteri indigen memiliki bentuk bulat positif ada 6 isolat, bentuk bulat isolat negatif ada 7 isolat, bentuk batang positif ada 6 isolat dan bentuk batang negatif ada 8 isolat. Uji indol didapatkan 6 isolat positif dan 22 isolat negatif. Uji motilitas didapatkan 13 isolat bakteri positif dan 14 isolat negatif. Uji MR menunjukkan 17 isolat positif dan 10 isolat negatif. Uji VP didapatkan 8 isolat positif dan 19 isolat negatif. Uji urease didapatkan 15 isolat positif dan 12 isolat negatif. Uji simon sitrat didapatkan 13 isolat positif dan 14 isolat negatif. Uji TSIA menunjukkan isolat bakteri ada yang mampu memfermentasikan glukosa, sukrosa dan laktosa dan ada yang tidak dapat memfermentasikan glukosa, sukrosa dan laktosa. Uji katalase didapatkan 27 isolat positif katalase. Untuk uji pewarnaan endospora isolat LB6, LB4, LC4, LD1, LF1, LF4 didapatkan hasil positif. Gambar pewarnaan endospora dapat dilihat pada Gambar IV.2:



Gambar IV.2. (a) Hasil positif uji spora (b) Hasil negatif uji spora pada bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa

IV.1.2 Hasil Uji Resistansi Bakteri Indigen Limbah Lindi Terhadap beberapa Konsentrasi Logam Besi (Fe)

Hasil uji resistansi bakteri indigen terhadap logam besi menggunakan 8 genus isolat dari 27 isolat bakteri yang dipilih berdasarkan ukuran besar koloni isolat. Hasil uji kemampuan bakteri indigen resistansi logam besi (Fe) dapat dilihat pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3 Hasil Uji Resistansi Bakteri Indigen Terhadap beberapa Logam Besi (Fe)

Berdasarkan hasil kemampuan bakteri indigen limbah lindi resistan terhadap logam besi (Fe) pada dengan kontrol akuadest, konsentrasi logam besi (Fe) 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Pengujian isolat bakteri resistensi menggunakan 8 genus isolat yaitu isolat LB1 *Pseudomonas* sp., LD1 *Bacillus* sp., LB2 *Neisseria* sp., LE4 *Micrococcus* sp., LC4 *Acinetobacter* sp., LF2 *Staphylococcus* sp., LD4 *Proteus* sp. dan LC3 *Escherichia* sp. Hasil Kemampuan 8 genus bakteri indigen limbah lindi resistan terhadap logam besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Hasil Uji Resistansi Bakteri Indigen terhadap Logam Besi (Fe)

| Isolat | Konsentrasi Fe | Rata-rata (mm) | Kriteria Zona Hambat |
|----------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|
| LB1 <i>Pseudomonas sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 0,68 | Resistan |
| | 15 ppm | 1,01 | Resistan |
| | 20 ppm | 2,86 | Sensitif |
| LD1 <i>Bacillus sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 0 | Resistan |
| | 15 ppm | 0,81 | Resistan |
| | 20 ppm | 1,15 | Sensitif |
| LB2 <i>Neisseria sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 2,18 | Sensitif |
| | 15 ppm | 4,58 | Sensitif |
| | 20 ppm | 5,70 | Sensitif |
| LE4 <i>Micrococcus sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 1,40 | Sensitif |
| | 15 ppm | 2,13 | Sensitif |
| | 20 ppm | 3,21 | Sensitif |
| LF2 <i>Staphylococcus sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 1,02 | Resistan |
| | 15 ppm | 2,07 | Sensitif |
| | 20 ppm | 3,21 | Sensitif |
| LD4 <i>Proteus sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 0,49 | Resistan |
| | 15 ppm | 1,79 | Sensitif |
| | 20 ppm | 3,51 | Sensitif |
| LC4 <i>Acinetobacter sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 1,75 | Sensitif |
| | 15 ppm | 2,05 | Sensitif |
| | 20 ppm | 3,21 | Sensitif |
| LC3 <i>Escherichia sp.</i> | Kontrol | 0 | Resistan |
| | 10 ppm | 0,52 | Resistan |
| | 15 ppm | 1,77 | Sensitif |
| | 20 ppm | 3,24 | Sensitif |

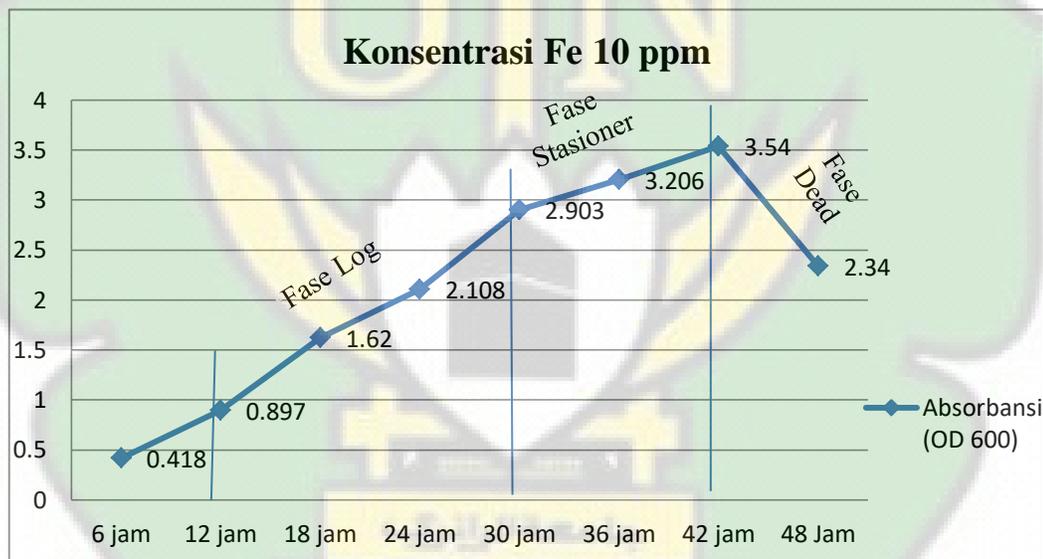
IV.1.3 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri Indigen Limbah Lindi

Hasil pengukuran kurva pertumbuhan isolat diambil isolat yang mampu meresistensi logam besi (Fe) dan di dapatkan genus *Bacillus sp.* dengan nilai zona hambat paling rendah. Hasil pengukuran kurva pertumbuhan *Baccilus sp.*

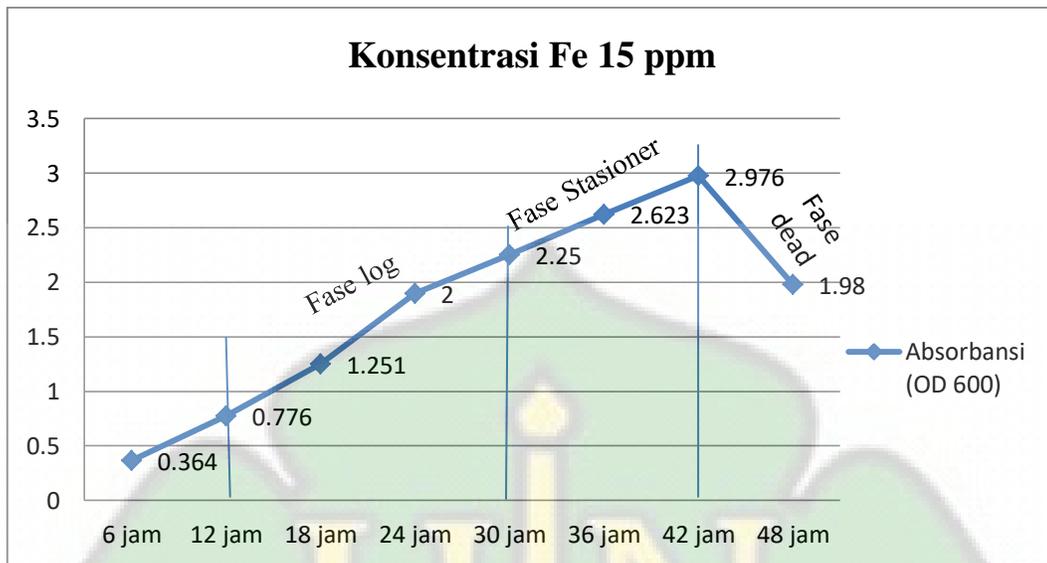
dengan konsentrasi 10 ppm, 15 ppm dan 20 ppm dapat dilihat pada Tabel IV.5 dan Gambar IV.4, IV.5 dan IV.6.

Tabel IV.5 Kurva Pertumbuhan (Viabilitas) Isolat *Bacillus* sp.

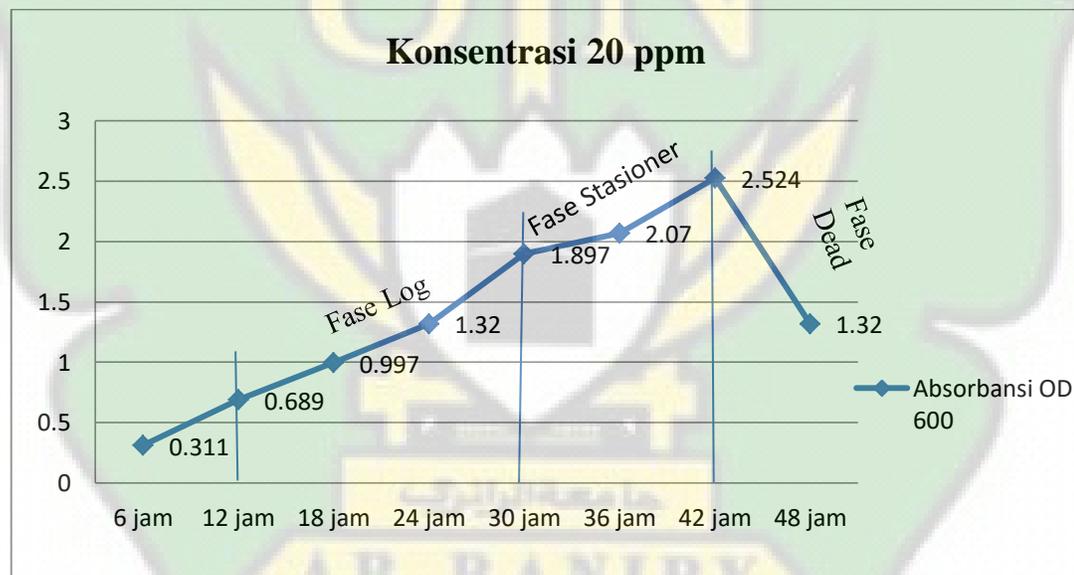
| Waktu \ Konsentrasi | 6 jam | 12 jam | 18 jam | 24 jam | 30 jam | 36 jam | 42 jam | 48 jam |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 10 ppm | 0,418 Å | 0,897 Å | 1,620 Å | 2,108 Å | 2,903 Å | 3,206 Å | 3,540 Å | 2,340 Å |
| 15 ppm | 0,364 Å | 0,776 Å | 1,251 Å | 1,897 Å | 2,250 Å | 2,623 Å | 2,976 Å | 1,980 Å |
| 20 ppm | 0,311 Å | 0,689 Å | 0,997 Å | 1.320 Å | 1,897 Å | 2,070 Å | 2,524 Å | 1,320 Å |



Gambar IV.4 Grafik Kurva Pertumbuhan Isolat *Bacillus* sp. Konsentrasi 10 ppm (Sumber: Hasil Penelitian 2023)



Gambar IV.5 Grafik Kurva Pertumbuhan Isolat *Bacillus* sp. Konsentrasi 15 ppm (Sumber: Hasil Penelitian 2023)



Gambar IV.6 Grafik Kurva Pertumbuhan Isolat *Bacillus* sp. Konsentrasi 20 ppm (Sumber: Hasil Penelitian 2023)

Berdasarkan hasil pertumbuhan isolat *Bacillus* sp. selama 48 jam dengan pengukuran 6 jam sekali. Hasil konsentrasi 10 ppm pada 6 jam pertama nilai absorbansi 0,418 dan nilai 48 jam 2,340. Pada konsentrasi 15 ppm pada 6 jam pertama nilai absorbansi 0,364 dan nilai 48 jam terakhir 1,980 dan konsentrasi 20 ppm pada 6 jam pertama 0,311 dan nilai 48 jam terakhir dengan nilai absorbansi

1,320. Kurva pertumbuhan isolat *Bacillus* sp. 12 jam fase log (*eksponensial*) sampai 30 jam, 36 jam sampai 42 jam fase stasioner dan 48 jam fase menuju kematian.

IV.2 Pembahasan Penelitian

IV.2.1 Karakterisasi Bakteri Indigen Limbah Lindi TPA Gampong Jawa

Bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa memiliki suhu 26°C dan memiliki kadar pH 7 (netral). Bakteri ditumbuhkan pada media NA (*Nutrien Agar*) yang mengandung logam besi (Fe) 5 ppm sebagai media untuk menyeleksi bakteri yang mampu bertahan pada cekaman logam besi (Fe). Bakteri indigen diinkubasi pada suhu ruang yaitu 29°C. Hal ini dikarenakan bakteri indigen limbah lindi merupakan bakteri mesofil. Menurut Adnyana *et al.*, (2016) Bakteri mesofil dapat tumbuh pada suhu 20°C- 45°C.

Air Limbah lindi TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh memiliki suhu 26°C dan drajat keasaman atau pH 7 (netral). Hal ini menunjukkan air limbah lindi TPA Gampong Jawa masih berada pada standar baku mutu sesuai praturan Pemerintah No. 5 tahun 2014 yaitu pH air limbah lindi berkisar 6-9 dan suhu maksimum 38°C. Perubahan kadar dan toksisitas dapat berubah setiap saat karena dipengaruhi oleh pH, suhu, kadar oksigen dan pengaruh faktor biotik abiotik lainnya (Angraeni, 2017).

Berdasarkan hasil karakteristik yang didapatkan secara makroskopis dan mikroskopis selanjutnya dilakukan proses identifikasi bakteri dengan menggunakan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* dan beberapa sumber jurnal. Hasil identifikasi bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa didapatkan 8 genus bakteri yaitu genus *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Neisseria* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Proteus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Escherichia* sp. Penelitian bakteri indigen air lindi dari TPA Sumpit Urang Kota Malang dilakukan oleh Wibisomo dan Mirza (2019) mendapatkan 40 isolat genus *Bacillus*.

Penelitian yang dilakukan oleh Maulana (2019) mengenai identifikasi

bakteri pada lindi di TPST Mulyoagung Bersatu Kota Malang mendapatkan 5 spesies isolat. Penelitian Rahardi *et al.*, (2020) mengenai bakteri indigen tanah tercemar air lindi mendapatkan 10 isolat bakteri genus *Bacillus* sp. Peneliti Oljira *et al.*, (2018) bakteri limbah cair dari industri minuman mendapatkan 3 genus isolat bakteri yaitu *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. Penelitian Morris *et al.*, (2018) mengenai bakteri indigen air limbah padat TPA mendapatkan 3 genus isolat bakteri yaitu *Firmicutes* sp., *Actinobacteria* sp. dan *Proteobacteria* sp. Penelitian Putri (2020) mengenai keanekaragaman bakteri pendegradasi plastik di TPA Piyungan Bantul mendapatkan 6 genus isolat bakteri yaitu *Staphylococcus*, *Sarcina*, *Bifidobacterium*, *Micrococcus*, *Sterptococcus*, dan *Enterococcus*.

IV.2.2 Uji Resistansi Bakteri Indigen terhadap Logam Besi (Fe)

Uji resistansi dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri terhadap cekaman logam besi (Fe). Hasil pengujian resistensi bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa terhadap logam besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel IV.4. Dari 27 isolat bakteri indigen, diambil perwakilan genus isolat dengan memilih ukuran isolat yang paling besar. Didapatkan isolat bakteri *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Neisseria* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Proteus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Escherichia* sp. Kriteria pengukuran zona hambat berdasarkan Ulfa *et al.*, (2016) interpretasi zona hambat yang dihasilkan bakteri dikatakan resistan terhadap logam berat jika hasil pengukuran zona hambat sebesar ≤ 1 mm.

Pengujian Resistansi logam besi (Fe) menggunakan kontrol aquades, konsentari 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Berdasarkan pengujian resistansi bakteri dari 8 isolat paling resisten terhadap logam besi Fe adalah isolat *Bacillus* sp. menghasilkan nilai rata-rata konsentrasi 10 ppm tidak terbentuk zona bening (paling resisten), 15 ppm dengan zona bening 0,81 mm (resistan), dan 20 ppm dengan zona bening 1,15 mm (resistan). Menurut Farisna (2015) semua isolat *Bacillus* sp. mampu tumbuh pada media NA yang mengandung logam Fe sampai dengan 300 ppm.

Genus *Bacillus* sp. dapat dibedakan dengan genus bakteri lain yaitu produksi endospora berbentuk oval, atau silindris (Elder *et al.*, (2005). Permukaan sel pada genus *Bacillus* sp. terdiri dari protein (glikoprotein) yang disebut dengan lapisan S, dan tidak

semua *Bacillus* sp. memiliki lapisan S. Lapisan S memiliki fungsi peranan penting pada interaksi *Bacillus* sp. dengan logam (Dworkin *et al.*, 2006). Pada penelitian Hayimuddin *et al.*, (2018) *Bacillus* sp. mampu mengakumulasi logam timbal. Penelitian Verdian (2015) Genus *Bacillus* sp. mampu mengurangi konsentrasi logam Cd²⁺ 3,73 mg/L dari konsentrasi 23.75mg/L. Pada penelitian Mastang (2016) *Bacillus thuringiensis* mampu menurunkan logam 250 ppm menjadi 0,39 ppm dalam waktu 2x24 jam.

Berdasarkan hasil penelitian uji resistansi bakteri indigen terhadap logam besi (Fe) bakteri *Pseudomonas* sp. resistan terhadap logam besi (Fe) pada konsentrasi 10 dan 15 ppm sedangkan pada konsentrasi 20 ppm bakteri sensitif atau tidak resistan. Pada penelitian Farida (2016) *Pseudomonas putida* mampu resistan terhadap logam besi (Fe) dari konsentrasi 80,94 ppm menjadi konsentrasi 33,63 ppm. Pada penelitian Imron *et al.*, (2021) Isolat bakteri *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas fluorescens* mampu resistan terhadap logam besi Fe pada konsentrasi 20 ppm menjadi 0 ppm. Kemampuan isolat bakteri *Pseudomonas* sp. dalam resistansi karena adanya *ekspolisakarida* berupa *alginate* yang mengandung gugus karboksil sebagai tempat pengikatan logam besi. Sedangkan pada penelitian ini genus *Pseudomonas* sp. konsentrasi 20 ppm tidak resistan.

Bakteri genus *Neiseria* sp. tidak resistan terhadap logam besi pada konsentrasi 10, 15 dan 20 ppm. Genus ini biasa tumbuh pada habitat dengan glukosa tinggi dan pada darah. Isolat *Proteus* sp. resistan terhadap logam besi (Fe) pada 10 ppm dan sensitif pada 15 dan 20 ppm. Pada penelitian Shariat (2020) menyatakan isolat *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris* mampu meresistensi logam besi (Fe) sampai 0,2 dan 0,1 mm. Sedangkan pada *Eschericia coli*, *Staphylococcus epidermidis* 0,8 dan 0,6 mm. pada penelitian Aljerf & Almasri (2018) menyatakan bakteri Gram positif lebih tinggi mengikat logam dibandingkan bakteri Gram negatif. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh karakteristik biokimia dan morfologi yang berbeda dan terjadinya plasmolisis serta perubahan struktur mesosomal menunjukkan gangguan membran.

Pada genus *Micrococcus* sp. resistan terhadap logam besi (Fe) pada konsentrasi 10 ppm resistan dan pada konsentrasi 15 dan 20 ppm sensitif. Pada

penelitian Aljerf (2018) menyatakan bahwa bakteri *Micrococcus luteus* resistan terhadap logam berat. Hal ini dapat disebabkan logam berperan penting dalam kestabilan struktur protein atau sebagai enzim, namun sifat kimiawi yang berlebihan pada logam dapat memicu reaksi redoks yang tidak tepat dengan O₂- dan H₂O₂ (reaksi fenton) menghasilkan radikal hidroksil (OH dan OH⁻) yang sangat merusak dan akhirnya dapat mengakibatkan kematian sel (Stadman, 1990).

IV.2.3 Uji Kurva Pertumbuhan Bakteri Indigen Limbah Lindi

Kurva pertumbuhan standar bakteri menggunakan spektrofotometer untuk melihat tingkat kekeruhan atau kepadatan sel isolat dengan melihat OD (*Optical Dencity*) yang terbaca melalui nilai absorbansi yang dihasilkan, semakin tinggi nilai OD semakin padat sel isolat bakteri. Pada penelitian ini panjang gelombang yang digunakan 600 nm. berdasarkan hasil pengujian terbukti bahwa pada panjang gelombang ini merupakan panjang gelombang yang optimal dalam membaca densitas suspensi bakteri. Panjang gelombang 600-625 nm digunakan untuk melihat tingkat kekeruhan untuk larutan berwarna kuning sampai coklat (Seniati *et al.*, 2019). Hasil patokan uji sesuai dengan larutan standar Mcfarland 0,5 atau 10⁸ CFU/ml (Rosmani a & Yanti, 2020).

Isolat *Bacillus* sp. yang telah digunakan telah diuji resistansi terhadap logam besi Fe, dengan hasil isolat *Bacillus* sp. mampu tumbuh dengan baik resisten pada konsentrasi 20 ppm. Uji kurva pertumbuhan isolat *Bacillus* sp. memasuki fase lag pada saat pengukuran OD jam ke-0. Menurut Farisna & Zulaikha (2015) menyatakan bahwa isolat *Bacillus* sp. pada saat dikultur medium NB yang mengandung Fe dengan konsentrasi dibawah 20 ppm tidak perlu lagi beradaptasi dan langsung memasuki fase log.

Pada konsentrasi 10 ppm logam besi (Fe) isolat *Bacillus* sp. mengalami fase log (*eksponensial*) pada jam ke-12 sampai jam ke-30 dengan nilai OD 0,897 Å sampai 2,903 Å. Fase stasioner pada jam ke-30 sampai jam ke-42 dengan nilai OD OD 2,903 Å sampai 3,540 Å. Selanjutnya fase menuju kematian (*phase of acceleratedeath*) pada jam ke-48 dengan nilai OD 2,340 Å. Konsentrasi 15 ppm logam besi (Fe) isolat *Bacillus* sp. mengalami fase log (*eksponensial*) pada jam ke-

12 sampai jam ke-30 dengan nilai OD 0,776 Å sampai 2,250 Å. Fase stasioner dimulai pada jam ke-30 sampai jam ke-42 dengan nilai OD 2,903 Å sampai 2,976 Å, dan fase menuju kematian (*phase of accelerated death*) dimulai jam ke-48 dengan kepadatan sel. Konsentrasi 20 ppm logam besi (Fe) isolat *Bacillus* sp. mengalami fase log (*eksponensial*) pada jam ke-12 sampai jam ke-30 dengan nilai OD 0,689 Å sampai 1,897 Å, fase stasioner dimulai pada jam ke-30 sampai jam ke-42 dengan nilai OD 1,897 Å sampai 2,524 Å dan fase menuju kematian (*phase of accelerated death*) pada jam ke-48 dengan nilai OD 1,320 Å

Fase ini menunjukkan terjadinya pertumbuhan dan pembelahan sel isolat bakteri *Bacillus* sp. secara maksimal. Pertumbuhan tersebut dipengaruhi faktor lingkungannya (suhu dan komposisi medium). Menurut Prescott *et al.*, (2008) pada fase log (*eksponensial*) kondisi fisiologis dan kimiawi populasi sel bakteri seragam, sehingga kultur yang berbeda pada fase ekponensial sering digunakan untuk penelitian biokimia dan fisiologis.

Hasil uji kurva pertumbuhan *Bacillus* sp. terpapar logam besi (Fe) selama 48 jam dengan konsentrasi 10, 15 dan 20 ppm menunjukkan pada konsentrasi cekaman logam besi (Fe) 10 ppm nilai OD 2,340 Å dengan kepadatan bakteri 4,85 CFU/ml, konsentrasi 15 ppm dengan nilai OD 1,980 Å kepadatan bakteri 4,81 CFU/ml dan konsentrasi 20 ppm dengan nilai OD 1,320 Å kepadatan bakteri 3,40 CFU/ml. Pada penelitian Farisna & Zulaikha (2015) konsentrasi logam besi 50, 100 dan 150 ppm isolat *Bacillus* sp. mampu resistan terhadap logam besi (Fe) sebesar $\geq 70\%$ yang menghasilkan rata-rata kepadatan jumlah sel >300 CFU/ml tiap konsentrasinya. Perbedaan kepadatan jumlah sel pada konsentrasi yang berbeda pada isolat *Bacillus* sp. memiliki nilai OD yang berbeda pada setiap jam, hal ini dapat terjadi karena kemampuan isolat dalam cekaman konsentrasi logam besi (Fe) yang berbeda-beda serta kondisi medium *Nutrien broth* (NB) berupa cairan memungkinkan paparan logam besi (Fe) yang lebih besar terhadap isolat yang tersebar bebas di dalam medium dari pada medium padat yang hanya sebagian isolat terpapar logam besi (Fe) (Farisna *et al.*, 2015).

BAB V PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik bakteri indigen limbah lindi TPA Gampong Jawa Kecamatan Kuta Radja Kota Banda Aceh secara umum berbentuk bulat, berakar, berbenang, tidak teratur, tepian koloni rata, bergelombang, bergerigi, berbenang, elevasi koloni bentuk cembung, datar, timbul datar, dan warna koloni putih-krim, kuning, kuning terang coklat muda. Karakteristik bakteri memperoleh 27 isolat bakteri yang memiliki kemiripan dengan 8 genus isolat *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Neisseria* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Proteus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Escherichia* sp.
2. Bakteri indigen resistan terhadap logam besi (Fe) isolat (LD1) *Bacillus* sp. dengan zona resistan konsentrasi 10 ppm tidak terbentuk zona bening, konsentrasi 15 ppm 0,81 nm, konsentrasi 20 ppm 1,15 nm. Bakteri resistan pada konsentrasi 10 ppm (LD1) *Bacillus* sp. (LB1) *Pseudomonas* sp., (LE4) *Micrococcus* sp., (LF2) *Staphylococcus* sp., (LD4) *Proteus* sp., dan (LC2) *Escherichia* sp. Bakteri sensitif konsentrasi 15 ppm (LE4) *Micrococcus* sp., (LF2) *Staphylococcus* sp., (LD4) *Proteus* sp., dan (LC2) *Escherichia* sp. bakteri sensitif pada konsentrasi 20 ppm (LB1) *Pseudomonas* sp., (LB2) *Neisseria* sp., (LE4) *Micrococcus* sp., (LF2) *Staphylococcus* sp., (LD4) *Proteus* sp., (LCA) *Acinetobacter* sp., dan (LC2) *Escherichia* sp.
3. Kurva pertumbuhan bakteri indigen isolat *Bacillus* sp., pada konsentrasi 10 ppm nilai tertinggi OD 3,540 Å, konsentrasi 15 ppm nilai OD tertinggi 2,976 Å dan konsentrasi 20 ppm nilai OD tertinggi 1,320 Å.

V.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyarankan:

1. Melakukan uji lanjutan molekuler untuk mengetahui spesies bakteri indigen.
2. Pengujian bioremediasi dapat dilanjutkan dengan menyesuaikan konsentrasi logam besi (Fe).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C. Y., & Bagastyo, A. Y. (2015). Proses Pengolahan Lindi dengan Metode Elektrolisis. *Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII, September*, 131–138. ISBN: 978-602-73103-08.
- Adnyana G, Gunam, & Anggreni. (2016). Penentuan Suhu dan Sumber Karbon Terbaik pada Pertumbuhan Isolat SBJ8 dalam Biotransformasi Dibenzenotiofena. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 4(4). 43-48. ISSN : 2503- 488X.
- Adhani R & Husaini. (2017). *Logam Berat di Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press. ISBN: 978-602-6483-47-8.
- Ajwad M. (2021). Gambaran Kejadian Resistensi *Acinetobacter baumannii* Terhadap Antibiotik Golongan Karbapenem di RSUP DR.Wahidin Sudirohusodo Makassar. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin Makassar. <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/15696/>. 25 Maret 2023.
- Angraeni, D. S. (2017). Kemampuan Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Berdasarkan Waktu Paparannya Oleh Bakteri Endapan Sedimen Perairan Sekitar Rumah Susun Sekitar Makasar. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alaudin Makasar. <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/11948/1/Dewi%20Sakti%20Angraeni.PDF>. 25 Februari 2023.
- Annisa A, Rahardjo & Yunita. (2017). Analisis Hubungan Penyebaran Lindi TPA Sumurbatu terhadap Kualitas Air Tanah di Kelurahan Sumur Batu Kecamatan Bantar Gebang Bekasi Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*.5(5). ISSN: 2356-3346.
- Al Kadri. (2016). Skripsi Penurunan Kadar Logam Fe dan Zn Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif dan Zeloit. *Universitas Hasanuddin*. <https://adoc.pub/penurunan-kadar-logam-fe-dan-zn>. 2 Mei 2022.
- Aldianti. (2021). Aplikasi Metode Geolistrik dipole-pole dan Geokimia Dalam Penentuan Rembesan Lindi pada Lapisan Tanah di Sekitar TPA Muarafajar Pekanbaru. DOI: <http://dx.doi.org/10.31258/jkfi.18.2.159-166>. 12 Juni 2022.
- Apriyani, N., & Lesmana, R. Y. (2020). Pengaruh Air Lindi Terhadap pH Zat Organik Pada Air Tanah di tempat Penampungan Sementara Kelurahan Pahandut Kota Palangkaraya. *Jurnal Manusia dan*

Lingkungan, 25(2), 60. <https://doi.org/10.22146/jml.39489>. 20 Juni 2020.

- Ariyanti W. (2016). Pertumbuhan Bakteri *E.coli* dan *Bacillus subtilis* pada media Singkong, Ubi Jalar Putih, dan Ubi Jalar Kuning sebagai Substitusi Media NA. Skripsi. <https://core.ac.uk/download/pdf/148610668.pdf>.
- Ardhiansyah M. (2020). Skripsi Efektivitas Bakteri Endofit dalam Mereduksi Zat Warna pada Limbah Tenun. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/123456789/30024> . 20 Juni 2020.
- Arnita, Y., & Aidar, N. (2018). Analisis *Willingness to Pay* Masyarakat untuk Peningkatan Pengelolaan Sampah di Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM) Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Unsyiah*, 3(4), 595–605. ISSN:2549-83.
- Ariyeti, M., Safni & Syukri. (2019). Penggunaan Limbah Logam Tembaga yang Didaur Ulang Untuk Antibakteri dan Degradasi Metil Merah Secara Fotolisis. *Jurnal Katalisator*. 15(20). ISSN:25020943. <http://dai.org/10.22216/jk.v4il.3663>.
- Aulia, H., Darmawi & Fakhurrazi. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Micrococcus luteus* dan *Staphylococcus epidermis* pada Kambing Sapi Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner (JIMVET)*. 6(2). 46-56. E-ISSN: 2540-9492.
- Boleng D. (2015). *Bakteriologi Konsep-konsep Dasar*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press. ISBN:978-979-796-329-3.
- Cappucino J & Sherman. (2014). *Mikrobiologi A Laboratory Manual Tenth Edition*. Lindenwood University: Pearson. ISBN 13:978-0-321-84022-6.
- Cappucino J & Chad. (2018). *Mikrobiologi A Laboratory Manual Global Edition*. Lindenwood University: Pearson. ISBN 13: 978-1-292-17578-2.
- Damayanti, E., Abadi, M., & Bintari. (2020). Perbedaan Jumlah Bakteri pada Wanita Lanjut Usia Berdasarkan Kultur Mikrobiologi Menggunakan Teknik Cawan Tuang dan Cawan Sebar. *Meditory*, 8(1), 1–4. ISSN: 2549-1520. <http://ejournal.poltekkes-denpasar.ac.id/index.php/M>. 20 Juni 2022.
- Darnas, Y., Anas, A. A., & Hasibuan, M. A. A. (2020). Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas

- Air Sumur. *Jurnal Serambi Engineering*. 5(3). ISSN: 1165–1176. <http://doi.org/10.23672/jse.v5i3.2080>. 21 Juni 2022.
- Darmawi, Z., Salim, D., Abrar, S., & Adam. (2019). Isolasi Identifikasi dan Uji Sensitivitas *Staphylococcus aureus* pada Luka Pasca Operasi Anjing Lokal (*Canis familiaris*). *Jurnal Medika Veterenaria*. 13(9). <https://doi.org/10.21157/j.med.vet.v13i1.4122>.
- Dicky, K., & Ratni, N. (2021). Bioremediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Metode Biostimulasi di Woncolo Bojonegoro. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2(2), 60–66. ISSN: 2789-6241.
- Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K. H., & Stackebrand, E. 2006. *The Prokaryotes: A Handbook on The Biology of Bacteria: Firmicutes, Cyanobacteria*. Springer Science Bussiness Media.
- Endrawati. (2018). Skripsi Uji Kemampuan Bakteri *Burkholderia pseudomallei* untuk Menyisihkan Logam Besi (Fe). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh. <https://core.ac.uk/display/291466903>. 12 Juni 2020.
- Elder, K., Baker, D., & Ribes, J. (2005). *Infections, Infertility, and Assisted Reproduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Eliza. (2016). Isolasi dan Karakterisasi Jenis Bakteri *Coliform* pada Air Sumur di Lingkungan Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Taman Gapa Kota Makassar. *Skripsi*. Universitas Islam Negri Alauddin.
- Farisna, S. T., & Zulaika, E. (2016). Resistensi *Bacillus Endogenik* Kalimas Surabaya Terhadap Logam Besi (Fe). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), 4–7. ISSN: 2337-3520.
- Farida. (2019). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Antibiotik Dari Pantai Kenjeran Surabaya. *Skripsi*. UIN Sunan Ampel: Surabaya.
- Fahrudin F, H., Santosa, & Wahyuni. (2020). Eksplorasi dan Karakterisasi Biokimia Resisten Timbal (Pb) dari Sungai Tallo Makassar. *Jurnal Serambi Engineering*. 5(3). 1215-1221. ISSN: 2541-1934.
- Fauziah S, & Ibrahim. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik pada Tanah Gambut di Desa Tagagiri Tama Jaya Kecamatan Pelangiran Kabupaten Inhil Riau. *Jurnal Lenntera Bio*. 9(3). 194-203. ISSN: 2252- 3979.
- Fidiastuti, H. R., Prabowo, C. A., Lathifah, A. S., Amin, M., & Utomo, Y. (2019). Bioremediasi Limbah Industri. *In Forind*. ISBN: 978-602-61177-55.

- Fidiastuti & Suarsini. (2017). Potensi Bakteri Indigen dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara In-Vitro. *Jurnal Bioeksperimen*.3(1). ISSN: 2460- 1365.
- Fitria, B., Maharani, I., Lukmannul, & Sugiyanto, D. (2018). Analisis Deliniasi Lindi TPA Gampong Jawa Berdasarkan Permodelan 2D Resistivitas dengan Metode Geolistrik. *J. Aceh Phys. Soc.*, 7(3), 133–138. ISSN: 2355-822.
<http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS/article/viewFile/11243/9472>.
2 Juni 2022.
- Firmansyah, H., & Harahap. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan pada Kolam Anaerob IPAL Industri Minyak Sawit. *Jurnal Sumber Daya dan Lingkungan Akuatik*. 2(1). E-ISSN: 2722-6026.
- Garcete L, J., Barrera D, S., & Passarini M. (2022). *Biotechnological Potential of Microorganisms from Landfil Leachate:Isolation, Antibiotic, Resistant and Lechate Discolaration*.*An Acad Bras Cienc*. 94(3). E-ISSN: 2021-0642.
- Harlis, B., Kapli, & Sanjaya. (2019). Produksi Pupuk Cair dari Isolat Bakteri Limbah Sayur Pasar Angso Duo Jambi dalam Meningkatkan Perekonomian dan Kesehatan Lingkungan Masyarakat Jambi. *Jurnal Bioespecies*.12(1). <https://doi.org/10.22437/biospecies.v12i1.6577>.
- Hasyimuddin, F., & Indrianti.(2018). Isolasi Bakteri Pengakumulasi Loga Berat Timbal (Pb) pada Saluran Pembuangan Limbah Industri di Kabupaten Gowa. *Biotropic*. 2(2). 126-132. ISSN: 2580:5029.
- Hidayat A & Chairil A.2017. *Telaah Mendalami Tentang Bioremediasi*. Bogor: IPB Press.ISBN: 978-602-440-095-8.
- Imron S, Setyo B & Siti R. (2021). *Resistance of Bacteria Isolated From Leachate To Heavy Metal and The Removal of Hg By Pseudomonas aeruginosa Strain FZ-2 at Diferent Salinity Level in A Batch Biosorption System*.31(14).<https://doi.org/10.1186/s42834-021-00088-6>. 28 Mei 2022.
- Ikerismawati S. (2019). Bioremediasi Pb Oleh Bakteri Indigen Limbah Cair Agar.*Jurnal Biosilampari*.1(2). 51-58. ISSN:2622-7770. DOI:10.31540/biosilampari.v1i2.288.
- 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). <http://jurnal.unsyiah.ac.id/SNPUnsyiah/article/download/6858/5659>. 23 April 2022.

- Joko, T., & Rachmawati, S. (2016). Variasi Penambahan Media Adsorpsi Kontak Aerasi Sistem Nampan Bersusun (*Tray Aerator*) Terhadap Kadar Besi (Fe) Air Tanah Dangkal di Kabupaten Rembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 15(1), 1–5. ISSN:2592-7085.
- Kallang G. (2020). Mikroremediasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Sedimen IPAL Menggunakan *Aspergillus niger* dengan Penambahan Variasi *Bulking Agent*. <https://www.onesearch.id/Record/IOS2676.22624>. 21 Juni 2022.
- Karunia, K., & Yanti. (2021). Karakterisasi Bakteri *Bacillus* sp. (KODE NrLtFs) yang di Isolasi dari Usus Cacing Nipah (*Namalycastis rhodochorde*). *Jurnal Probiot*. <http://dx.doi.org/10.26418/protobiont.v10i3.55574>.
- Kurniawan, A. (2021). *Al-Qur'an & Mikrobiologi*. Bangka belitung:UBB PRESS. ISBN: 978-979-1373-61-6.
- Koenjoro M, & Endry P. (2020). *Dinamika Dinding Sel Bakteri*. Surabaya: Jakad Media Publishing. ISBN: 979-623-6551-75-2.
- Lensoni. (2017). Konsep Sistem Penurunan Kadar Fe pada Air Bersih dengan Menggunakan Metode Aerasi. *Jurnal Unaya*. 2(3). ISSN: 416, 338–345.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, D.A., & Clark, D. P. (2012). *Brock Biology of Microorganisms*. San Fransisco: Pearson Education.
- Mahyudin, R. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah dan Dampak. *Jurnal Teknik Lingkungan*. <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v3i1.3201>. 20 April 2022.
- Mardalisa, F., Yoswati, F., Effendi, & Amin. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Indigeneous* Pendegradasi Plastik dari Perairan Laut Dumai Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*. 9(1). ISSN: 1693-2862.
- Mastang. (2016). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pengakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Endapan Sedimen Kanal Sekitar Rumah Susun Kota Makassar. *Skripsi*. <https://eprints.umm.ac.id/46183/>. 2 Mei 2023.
- Maulana M. (2019). Identifikasi Bakteri pada Lindi di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) 3R Mulyoagung Bersatu Kecamatan Dau Kabupaten Malang dan Kajian Implementasi Sebagai Sumber Belajar

Biologi. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang: Malang. <https://eprints.umm.ac.id/46183/>. 28 April 2023.

- Melisa R, Billy J & Michael. (2015). Uji Daya Hambat Daun Sirsak (*Annona muricata L.*) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* Secara In Vitro. *Jurnal Ilmiah Farmasi* .ISSN: 2302-2493.
- Mikdarullah, M., & Nugraha, A. (2017). Teknik Isolasi Bakteri Proteolitik Dari Sumber Air Panas Ciwidey, Bandung. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 15(1), 11-14. <https://doi.org/10.15578/blta>. ISSN: 2541-2442.
- Morris, C., Enright D, R., & Marie. (2018). *Bioremediation of Landfill Leachate Using Isolated Bacterial Strains*. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 6(1), 26–35. <https://doi.org/10.12691/ijebb-6-1-4>.
- Novianty, R., Saryono, Awaluddin, A., & Pratiwi, Wahyu, N. (2020). Bakteri Indigen Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 09(1), 34–40. ISSN:2337-4888.
- Priatna L, Wahyu & Purwendah. (2020). Pengolahan Sampah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gunung Tugel Desa Kerundungrandu Kecamatan Patikraja Kabupaten Banyumas. *Jurnal Pembangunan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal*. vol 9(2). DOI: <http://doi.org/10.51921/chk.v22il.88>.
- Pratiwi, W. M., & Asri, M. T. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Indigenous* Pendegradasi Pestisida Profenofos dan Klorantraniliprol di Jombang Jawa Timur. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 300–309. ISSN: 2252-3979.
- Pusporini. (2016). Biodiversitas Bakteri pada Tanah Tercemar Pemberosesan Akhir (TPA) Supit Urang Kota Mallang. *Thesis (sarjana)*. Universitas Brawijaya. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/150805>. Diakses tanggal 20 Februari 2023.
- Prescott, Herley, Klein. (2008). *Microbiology Seventh Edition*. New York: McGraw- Hill.
- Puspita I, A., Anita, S., & Andini. (2020). Uji Sensivitas *Escherichia coli* yang di Isolasi dari Air Sumur Galian Dekat dengan *Septic Tank* Terhadap Ciprofloxacin. *Jurnal National Conference for Ummah*. <https://conferences.unusa.ac.id/index.php/NCU2020/article/view/598/>.

24 Desember 2022.

- Putri A. (2022). Keragaman Bakteri yang Berpotensi dalam Mendegradasi Mikroplastik di TPA Piyungan Bantul Diy. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/40611>. 28 April 2023.
- Oljira, T., Muleta, D., & Jida, M. (2018). *Potential Applications of Some Indigenous Bacteria Isolated from Polluted Areas in the Treatment of Brewery Effluents*. *Biotechnology Research International*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/9745198>.
- Rahadi, B., Susanawati, L. D., & Agustianingrum, R. (2019). Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri *Indigenous* pada Tanah Tercemar Air Lindi (*Leachate*). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(3), 11–18. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2019.006.03.2>.
- Rahmaningsih, S. (2017). Penerapan Teknologi Rumput Laut Sebagai Biofilter Alami Air Tambak Untuk Mengurangi Tingkat Serangan Penyakit Pada Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 3(1). <https://doi.org/10.24319/jtpk.3.11-16>.
- Rahmawati A, & Zulaikha. (2021). Bioakumulasi Besi (Fe) Pada *Bacillus* JA1, *Sporosarcina* JA4, *Lysinibacillus* JB2. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 8(2). 66-70. ISSN: 2338-4344.
- Rahmahdina, & Febriani H. (2017). *Biologi Sel Unit Terkecil Penyusun Makhluk Hidup*. Surabaya: Cv. Selebar Papyrus. ISBN: 978-602-50521-3-2.
- Rahmawati L, Adlina S, & Yuliana. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Protease Ekstraseluler dari Limbah Cair Tahu Putih. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada*. 21(2). <http://dx.doi.org/10.36465/jkbth.v21i2.748>.
- Rahayu D, & Mangkoedihardjo S. (2022). Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabe, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*. 11(1). ISSN: 2337-3539.
- Rahayuningsih T, Isnatin, & Parwi. (2018). Isolasi dan Seleksi Bakteri Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Pabrik Kayu Putih. *Jurnal Ilmu Pertanian Kehutanan dan Agroteknologi*. 19(2). 98-99. ISSN: 1411-5336.

- Rini C, & Rochmah J. (2020). *Bakteriologi Dasar*. Sidoarjo: UMSIDA Press. ISBN: 978-623-6833-66-7.
- Riskawati. (2016). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Patogen pada Tanah di Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Kota Makassar. *Skripsi*. UIN Allaudin Makasar. 21 Juni 2023.
- Rosmania & Yanti. (2020). Perhitungan Jumlah Bakteri di Laboratorium Mikrobiologi Menggunakan Pengembangan Menggunakan Metode Spektrofotometri. 22 (2). <https://doi.org/10.56064/jps.v22i2.564>.
- Sari, E, K., & Lucyana. (2021). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Lindi Komerung Ulu. *Jurnal Deformasi*, 6(1), 33–41. ISSN: 2477- 4960.
- Sari R, & Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (*Leachate*) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unad* .6(1). ISSN: 2302-8491.
- Safira P, & Perdana. (2022). Evakuasi dan Optimasi Instalasi Pengolahan Lindi di TPK Sari Mukti. *Jurnal Reka Lingkungan*. 10(1). ISSN: 2337-6228.
- Sabbathini G, Rahardjo & Yunita.(2017). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Genus *Sphingomonas* dari Daun Padi (*Oryza sativa*) di Area Persawahan Cibinong. *Jurnal Biologi*. 6(1). 59-64. <https://ejournal3.undip.ac.id>. 12 Juli 2022.
- Sayuti I, Y., & Hardianti. (2016). Identifikasi Bakteri pada Sampah Organik Pasar Kota Pekanbaru dan Potensinya Sebagai Rancangan Lembar Kerja Siswa (LKS) Biologi SMA. *Jurnal Biogenesis*. 13(1). 51-60. ISSN: 1829-5460.
- Seniati, M., & Irham. (2019). Pengukuran Kepadatan Bakteri *Vibrio Harveyi* Secara Cepat Dengan Menggunakan Spektrofotomer. *Jurnal Politeknik Pertanian Pangkajene Kepulauan*. 19(2). ISSN: 1412: 811X.
- Silalahi L, M., & Rahmawati. (2020). Karakterisasi dan Identifikasi Genus Bakteri Endofit dari Daun Batang Jeruk Siam (*Citrus nobilis* var. *microcarp*) Sehat di Desa Anjungan Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*. 9(10). 26-29. ISSN: 2338-7874.
- Sunaryanto, R. (2017). Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi Menggunakan Isolat *Indigenous*. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi – SNITek 2017*, 147–153. ISSN: 2580-5495.

- Suryani & Taupiqurrahman. (2021). *Mikrobiologi Dasar*. Bandung: LP2M UINSGD Bandung. ISBN: 978-623-89-5.
- Susanti M. (2022). Analisis Cemaran Bakteri *Coliform fecal* pada Sumber Air Warga di Sentara Produksi Tahu Kecamatan Tarub Kabupaten Tegal. *Jurnal Media Husada*. 2(2). ISSN: 2829-2871.
- 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/cm.v3i1.2596>.
- Syam F. (2017). Upaya Biodegradasi Limbah Plastik Berwarna (Gelombang Pendek) dengan Penambahan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus thuringiensis*. *Skripsi*. Makasar: UIN Allauddin. <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/id/eprint/11879>. 20 Januari 2023.
- Suswanto, Muddasir & Siswanta. (2020). Pembuatan dan Optimasi Sensor Warna Logam Besi Terlarut dalam Air dengan Matriks Karagenan. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 4(2). ISSN: 2549 – 0699.
- Thomas R & Dian H. (2019). Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Air Tanah dan Teknik Pengelolaan Air Lindi TPA Banyurutu Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Saince Tech*. 5(2). DOI: 10.30738/jst.v5i2.5354.
- Theresia. (2020). Skripsi Identifikasi Bakteri *Proteus vulgaris* pada Telur Itik dijual di Pasar Tradisional, Kota Makasar. *Skripsi*. http://repository.unhas.ac.id/1421/2/O11114503_skripsi%201-2.pdf. 24 juni 2023.
- Ulfani, Badawi, D. A., Nurjannah, S., & Sugiyanto, D. (2019). *Identifikasi Pengaruh Hidrogeologi terhadap Penyebaran Lindi di Bagian Timur dan Barat TPA Gampong Jawa Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas*. 8(2), 41–46. ISSN:2355-8229.
- Ulfa, A., Suarsini, E., & Muhdhar. (2016). Isolasi dan Uji Sensivitas Merkuri pada Bakteri pada Limbah Penambangan Emas di Sekotong Barat Kabupaten Lombok Barat: Penelitian Pendahuluan. *Proceseding Biology Education Conference*.3. 398-399. ISSN: 2528-5742.
- Verdian T. (2015). Resistensi dan Potensi Bacillus Sebagai Bioremoval Logam Kadmium (Cd). *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya. <https://core.ac.uk/download/pdf/291473370.pdf>. 25 Februari 2023.

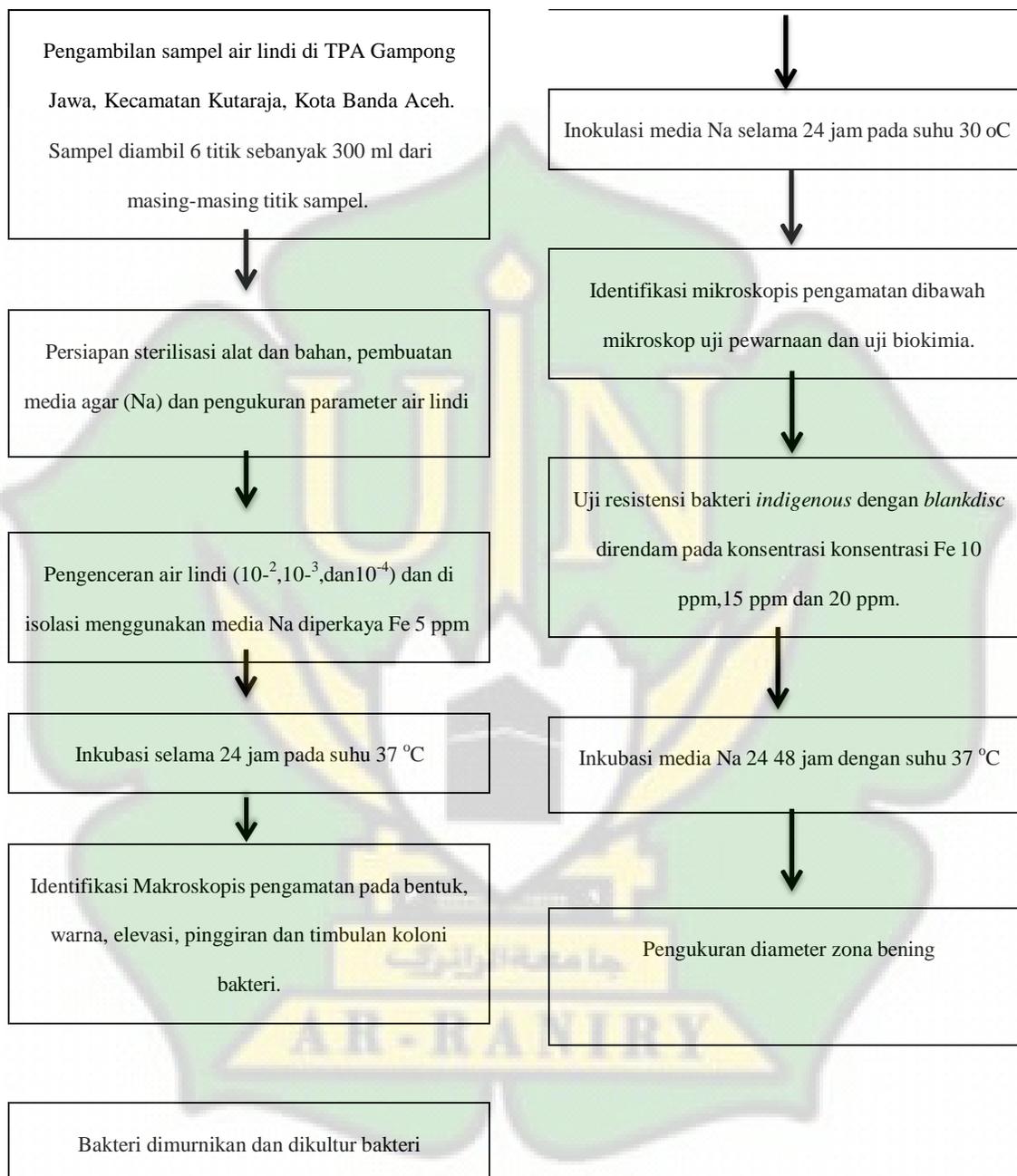
Wibisomo & Mirza. (2019). Uji Toleransi dan Penurunan Konsentrasi Tembaga (Cu) oleh Bakteri Indigeneous Air Lindi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sumpit Urang Kota Malang. *Thesis*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/179313>. 20 Februari 2023.

Yanti, R., & Kurniatuahdi. Karakteristik Morfologi dan Fisiologi Bakteri Endofit dari Akar Napas Tumbuhan *Avicennia maria* (Forsk) Vierh di Mempawah mangrove park (MMP). *Jurnal Biologica Samudra*.3(2). <https://doi.org/10.33059/jbs.v3i2.4220>.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Penelitian



Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



Kolam Limbah Lindi 1



Kolam Limbah Lindi 2



Kolam Limbah Lindi 3



Pengambilan Sampel
Limbah Lindi



Pengenceran Limbah
Lindi



Sterilisasi Alat



Pembuatan Larutan Baku
Fe 1000 ppm



Pemurnian Bakteri
Indigen



Uji Pewarnaan Gram



Uji Resistensi Fe



Pengukuran Zona Bening



Uji Kurva Pertumbuhan
Bakteri



Uji Indol 12 Isolat



Uji Indol 12 Isolat



Uji Indol 3 Isolat



Uji MR 12 Isolat



Uji MR 12 Isolat



Uji MR 3 Isolat



Uji VP 12 Isolat



Uji VP 12 Isolat



Uji VP 6 Isolat



TSIA 12 Isolat



TSIA 12 Isolat



TSIA 6 Isolat



Uji Urease 12 Isolat



Uji Urease 12 Isolat



Uji Urease 3 Isolat



Uji Sitrat 12 isolat



Uji Sitrat 12 Isolat



Uji Sitrat 3 Isolat



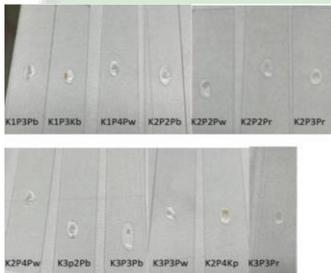
Uji Motil 12 Isolat



Uji Motil 9 Isolat



Uji Motil 6 Isolat

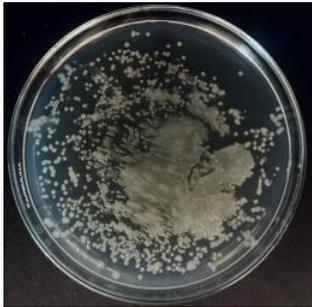


Uji Katalase 13 Isolat



Uji Katalase 14 Isolat

Lampiran 3. Isolat Bakteri



LA1



LA2



LA3



LB1



LB2



LB3



LC1



LC2



LC3



LD1



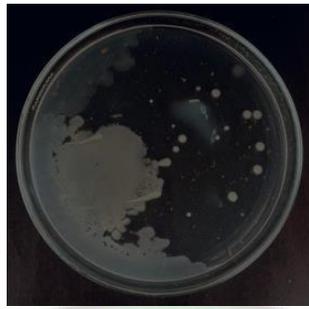
LD2



LD3



LE1



LE2



LE3



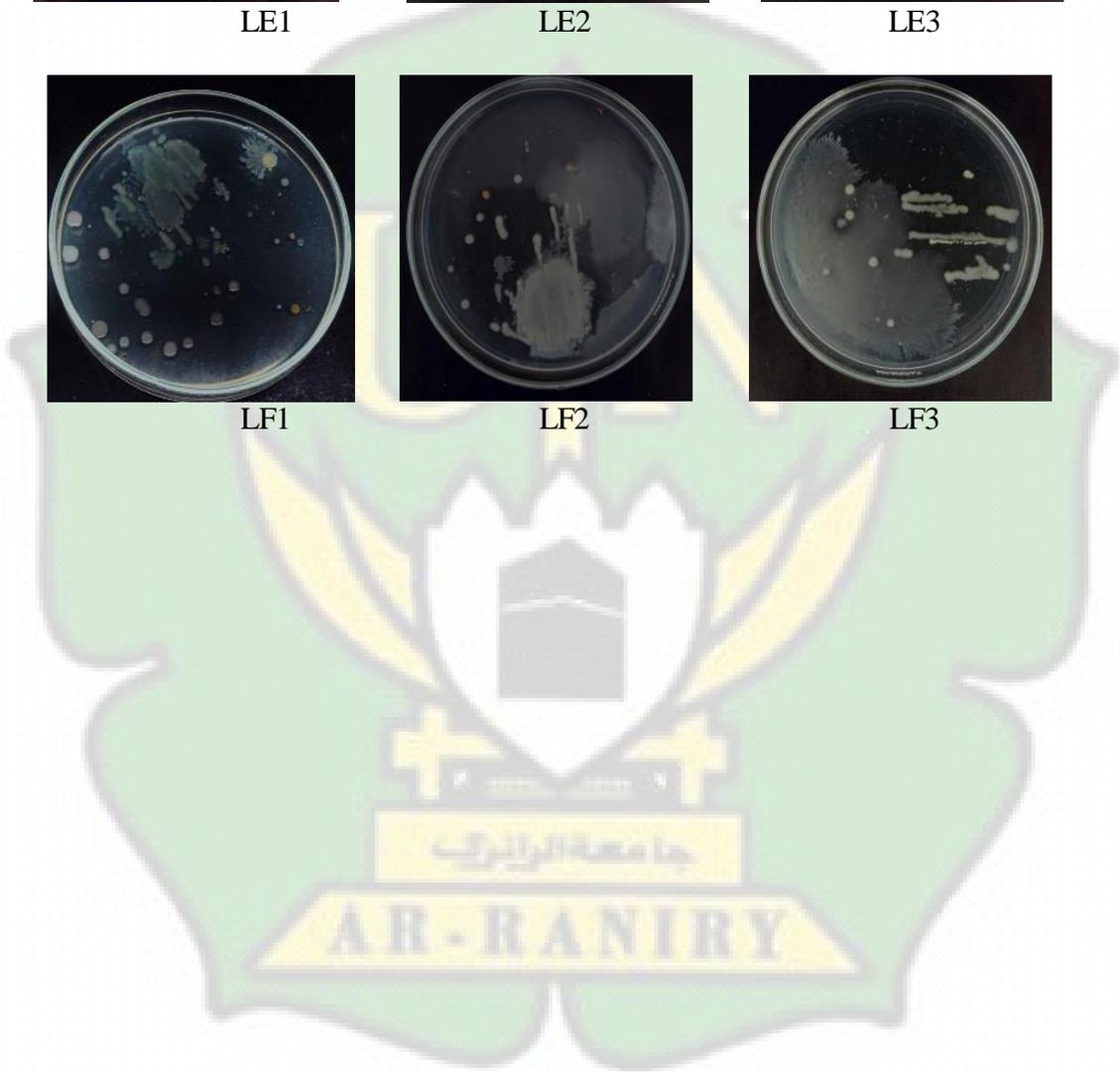
LF1



LF2



LF3



Lampiran 4. Rumus

1. Pembuatan Larutan Induk Logam Besi (Fe)

a. Larutan Induk Fe 1000 ppm

$$Gr = \frac{BM \text{ FeSO}_4}{BA \text{ Fe}} \times 1 \text{ gr}$$

$$Gr = \frac{152}{56} \times 1 \text{ gr}$$

$$= 2,714 \text{ gr}$$

Dilarutkan 2,714 gram FeSO₄ dengan aquades kemudian dimasukkan dalam labu ukur 1000 ml sampai tanda batas lalu dihomogenkan.

b. Larutan Kerja Logam Besi (Fe)

Diambil 10 ml larutan induk Fe 1000 ppm dengan mikropipet kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 ml masukkan aquades hingga tanda batas.

Dik:

$$V_2 = 100 \text{ ml}$$

$$M_2 = 100 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 1000 \text{ ppm Dik:}$$

$$V_1 = \dots\dots\dots ?$$

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{10.000}{1000}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

c. Larutan Standar

Untuk menggunakan larutan standar dengan menurunkan konsentrasi larutan kerja 100 ppm menjadi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm.

Rumus Pembuatan Larutan Standar 5 ppm

Dik :

$$M_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 50 \text{ ml}$$

$$M_2 = 5 \text{ ppm}$$

$$\text{Dit : } V_1 = ?$$

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} \cdot 5$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

Diambil 2,5 ml larutan kerja Fe 100 ppm dengan mikropipet kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 ml masukkan aquades hingga tanda batas dan didapatkan Fe 5 ppm 100 ml.

Rumus Pembuatan Larutan Standar 10 ppm

Dik :

$$M_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 50 \text{ ml}$$

$$M_2 = 10 \text{ ppm Dik :}$$

$$V_1 = \dots\dots\dots ?$$

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} \cdot 10 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{500}{100}$$

$$= 5 \text{ ml}$$

Diambil 5 ml larutan kerja Fe 100 ppm dengan mikropipet kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 ml masukkan aquades hingga tanda batas dan didapatkan Fe 10 ppm 100 ml.

Rumus Pembuatan Larutan Standar 15 ppm

Dik :

$$M_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 50 \text{ ml}$$

$$M_2 = 15 \text{ ppm Dik :}$$

$$V_1 = \dots\dots\dots ?$$

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} \cdot 15 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{750}{100}$$

$$V_1 = 7,5 \text{ ml}$$

Diambil 7,5 ml larutan kerja Fe 100 ppm dengan mikropipet kemudian

dimasukkan dalam labu ukur 100 ml masukkan aquades hingga tanda batas dan didapatkan Fe 15 ppm 100 ml.

Rumus Pembuatan Larutan Standar 20 ppm

Dik :

$$M1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V2 = 50 \text{ ml}$$

$$M2 = 20 \text{ ppm Dik :}$$

$$V1 = \dots\dots\dots ?$$

$$V1.M1 = V2.M2$$

$$V1.100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml}.20 \text{ ml}$$

$$V1 = 10 \text{ ml}$$

Diambil 10 ml larutan kerja Fe 100 ppm dengan mikropipet kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 ml masukkan aquades hingga tanda batas dan didapatkan Fe 20 ppm 100 ml.

2. Rumus Pembuatan media NA diperkaya logam besi (FeSO_4) 5 ppm

$$V1.M1 = V2.M2$$

Dik :

$$V1 = 300$$

$$M1 = 5$$

$$M2 = 100$$

$$\text{Dit: } V2 = \dots ?$$

$$300.5 = V2.100$$

$$V2 = 15 \text{ ml}$$

3. Rumus Pengulangan

Pengulangan menggunakan rumus Federer, sebagai berikut: $(t-1)$

$$(n-1) \geq 15$$

$$(8-1)(n-1) \geq 15$$

$$7(n-1) \geq 15$$

$$7n-7 \geq 15$$

$$7n \geq 15 + 7$$

$$7n \geq 22$$

$$n = 3$$

Lampiran 5 Surat Keterangan Pembimbing Skripsi



SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
Nomor: B-721/Un.08/FST/KP.07.6/11/2022

TENTANG

PENETAPAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

Menimbang : a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi mahasiswa Prodi Biologi pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, maka dipandang perlu menunjuk pembimbing dimaksud;
b. bahwa yang namanya tersebut dalam Surat Keputusan ini dianggap cakap dan mampu untuk ditetapkan sebagai pembimbing skripsi mahasiswa.

Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi;
3. Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan;
4. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
5. Peraturan Presiden RI Nomor 64 Tahun 2013 Tentang Perubahan Institut Agama Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh menjadi Universitas Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh;
6. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 12 Tahun 2014, tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
7. Keputusan Menteri Agama Nomor 12 Tahun 2020 Tentang Statuta UIN Ar- Raniry Banda Aceh;
8. Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Nomor 01 Tahun 2015 Tentang Pemberian Kuasa dan Pendelegasian Wewenang Kepada Para Dekan dan Direktur Program Pascasarjana dalam Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh;
9. Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Banda Aceh Nomor 29 Tahun 2021 Tentang Satuan Biaya Khusus Tahun Anggaran 2022 di Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh;

Memperhatikan : Keputusan Seminar Proposal Skripsi Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh tanggal 17 Oktober 2022.

MEMUTUSKAN

Menetapkan Kesatu : Menunjuk Saudara:
1. Diannita Harahap, M.Si Sebagai Pembimbing I
2. Sayfrina Sari Lubis, M.Si Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing Skripsi:

Nama : Purwati Saputri
NIM : 180703099
Prodi : Biologi
Judul Skripsi : Karakterisasi dan Uji Resistensi Bakteri Indigen Limbah Lindi TPA Gampong Jawa terhadap Kadar Logam Besi (Fe)

Kedua : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan akhir Semester Genap Tahun Akademik 2022/2023 dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.



Tembusan:

1. Rektor UIN Ar-Raniry di Banda Aceh;
2. Ketua Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry;
3. Peneliti yang bersangkutan untuk diteliti dan diteliti.

Lampiran 6 Surat Penelitian

13/03/23 07:15

Document



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
Telepon : 0651- 7557321, Email : uin@ar-raniry.ac.id

Nomor : B-631/Un.08/FST.I/PP.00.9/03/2023
Lamp : -
Hal : **Penelitian Ilmiah Mahasiswa**

Kepada Yth,
Kepada Kepala Laboratorium Mikrobiologi Multifungsi
Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Pimpinan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dengan ini menerangkan bahwa:

Nama/NIM : **Purwati Saputri / 180703099**
Semester/Jurusan : / Biologi
Alamat sekarang : Ule kareng

Saudara yang tersebut namanya diatas benar mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi bermaksud melakukan penelitian ilmiah di lembaga yang Bapak/Ibu pimpin dalam rangka penulisan Skripsi dengan judul **Karakterisasi dan Uji Resistensi Bakteri Indigen Limbah Lindi TPA Gampong Jawa Terhadap Kadar Logam Besi(Fe)**

Demikian surat ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terimakasih.

Banda Aceh, 08 Maret 2023
an. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan,



Berlaku sampai : 30 Juni 2023

Yusran, S.Pd., M.Pd.

Lampiran 7 Surat Keterangan Bebas Laboratorium



LABORATORIUM BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
Jl. Syeikh Abdul Rauf Kopelma Darussalam, Banda Aceh
Web: www.biologi.fst.ar-raniry.ac.id, Email: biolab.ar-raniry@gmail.com



SURAT KETERANGAN BEBAS LABORATORIUM
No: B-18/Un.08/Lab.Bio-FST/PP.00.9/03/2023

Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : Purwati Saputri
NIM : 180703099
Program Studi : SI-Biologi
Fakultas : Fakultas Sains dan Teknologi
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Alamat : Ulee Kareng, Kota Banda Aceh

Benar yang namanya tersebut diatas adalah mahasiswa biologi yang melakukan penelitian dan menggunakan fasilitas alat dan bahan Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh sehingga tidak ada tanggungan biaya alat laboratorium (kecuali bahan & jasa), dan telah menyelesaikan biaya pemakaian bahan laboratorium dalam rangka melaksanakan penelitian skripsi dengan topik:

“Karakterisasi dan Uji resistensi Bakteri Indigen Limbah Lindi di TPA Gampong Jawa terhadap Logam Besi (Fe)”

Demikian surat keterangan ini dibuat, agar dapat digunakan semestinya.

Banda Aceh, 20 Maret 2023
Ketua Laboratorium Biologi

Arif Sardi, M.Si

Lampiran 8. Biaya Penelitian

| No | Nama Bahan | Kebutuhan | Harga |
|-------|-------------------------------|-----------|-----------|
| 1. | Media NA | 40 gr | 200.000 |
| 2. | Media MHA | 25 gr | 125.000 |
| 3. | Media SIM | 25 gr | 125.000 |
| 4. | Media TSIA | 15 gr | 75.000 |
| 5. | Media MR-VP | 25 gr | 125.000 |
| 6. | Media NB | 20 gr | 100.000 |
| 7. | Akuades | 25 L | 125.000 |
| 8. | Kapas | 300 gr | 30.000 |
| 9. | Alkohol 70% | 150 ml | 30.000 |
| 10. | Spiritus | 3 L | 120.000 |
| 11. | NaCl | 100 ml | 20.000 |
| 12. | Reagen Covac | 5 ml | 10.000 |
| 13. | Metyl Red | 4 ml | 8.000 |
| 14. | Safranin | 6 ml | 12.000 |
| 15. | Lugol | 3 ml | 12.000 |
| 16. | Iodine | 3 ml | 12.000 |
| 17. | Plastik penyimpanan isolat | 100 buah | 20.000 |
| 18. | Plastik Wrap | 3 buah | 65.000 |
| 19. | Aluminium Foil | 2 buah | 55.000 |
| 20. | Botol Sampel | 10 botol | 100.000 |
| 21. | Malachite Green | 4 ml | 6.000 |
| 22. | Kristal Violet | 6 ml | 12.000 |
| 23. | Kotak penyimpanan | 1 buah | 65.000 |
| 24. | H ₂ O ₂ | 4 ml | 12.000 |
| Total | | | 1.464.000 |