

**EKOPOTENSIAL *Bacillus* sp. DARI KRUENG ACEH:
BIOREMEDIASI DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBIAL**

TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Diajukan oleh:

**ANNISA RAHMAH
NIM. 180703061**

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2024 M/ 1446 H**

**EKOPOTENSIAL *Bacillus* sp. DARI KRUENG ACEH:
BIOREMEDIASI DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBIAL**

TUGAS AKHIR/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:

ANNISA RAHMAH
180703061

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Biologi

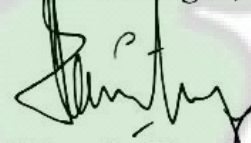
Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,



Syafina Sari Lubis, M.Si
NIDN. 2025048003

Pembimbing II,



Diannita Harahap, M.Si
NIDN. 2022038701

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Muslich Hidayat, M.Si
NIDN. 2002037902

**EKOPOTENSIAL *Bacillus* sp. DARI KRUENG ACEH: BIOREMEDIASI
DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBIAL**

TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasah Tugas Akhir/Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu/Prodi Biologi

Pada Hari/Tanggal: Jum'at, 12 Januari 2024
30 Jumadil Akhir 1445 H
di Darussalam, Banda Aceh

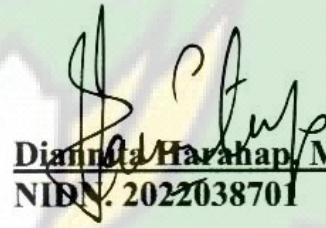
Panitian Ujian Munaqasah Tugas Akhir/Skripsi:

Ketua,



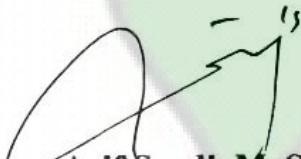
Syafrina Sari Lubis, M. Si
NIDN. 2025048003

Sekretaris,



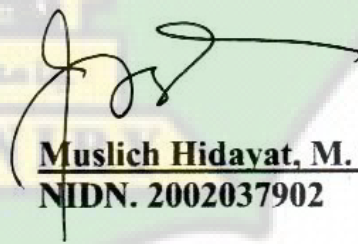
Dianita Harahap, M. Si
NIDN. 2022038701

Penguji I,



Arif Sardi, M. Si
NIDN. 2019068601

Penguji II,



Muslich Hidayat, M. Si
NIDN. 2002037902

Mengetahui:

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



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIDN. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR/SKIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa Rahmah
NIM : 180703061
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Ekopotensial *Bacillus* sp. dari Krueng Aceh:
Bioremediasi dan Aktifitas Antimikrobia

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

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
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, 12 Januari 2024

Yang Menyatakan



Annisa Rahmah

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat beserta dengan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir/skripsi dengan judul “EKOPOTENSIAL *Bacillus* Sp. DARI KRUENG ACEH: BIOREMEDIASI DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBIAL”, selawat dan salam tidak lupa pula penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad yang telah membawa kita dari zaman kebodohan ke dalam zaman yang berilmu pengetahuan seperti sekarang.

Penghargaan dan terimakasih kepada Ayahanda Basri Razali dan Ibunda Yuslina yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Abang tercinta Fachrul dan Iqbal terimakasih telah memberikan do'a dan motivasi terbaik kepada penulis. Terimakasih kepada Paman tersayang Alwi Razali yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat sehingga penulis sampai kepada tahap ini. Terimakasih kepada seluruh keluarga besar Razali yang juga turut serta dalam memberikan dukungan kepada penulis.

Pada kesempatan kali ini penulis juga tidak lupa mengucapkan kata terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Bapak Muslich Hidayat, M. Si selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Ibu Kamaliah M. Si selaku pembimbing akademik penulis di Program Studi Biologi.
4. Ibu Syafrina Sari Lubis, M. Si selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dan memberi arahan pada penulis dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Diannita Harahap, M. Si selaku pembimbing II yang telah membantu dan memberi arahan pada penulisan skripsi ini.
6. Bapak Arif Sardi, M. Si selaku penguji I pada sidang munaqasyah penulis.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staf Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi.

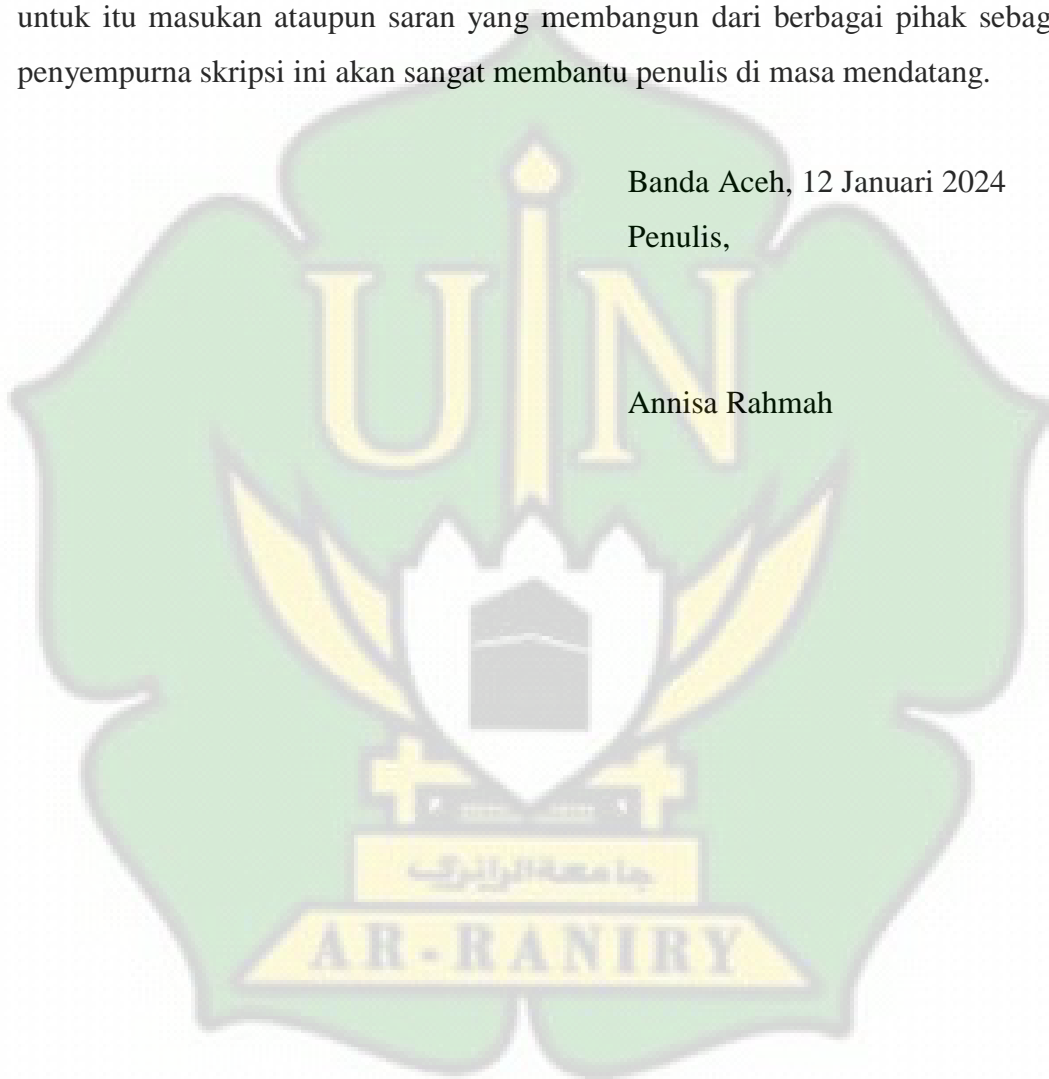
8. Rekan-rekan seperjuangan penulis, Rahma, Andani, Maysarah, Wulan, Sabalia, Ranti, Maula, Hudia dan Mona yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman angkatan 2018 Program Studi Biologi yang telah memberi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan proposal ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna, untuk itu masukan ataupun saran yang membangun dari berbagai pihak sebagai penyempurna skripsi ini akan sangat membantu penulis di masa mendatang.

Banda Aceh, 12 Januari 2024

Penulis,

Annisa Rahmah



ABSTRAK

Nama : Annisa Rahmah
NIM : 180703061
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Ekopotensial *Bacillus* sp. dari Krueng Aceh: Bioremediasi dan Aktifitas Antimikrobia
Pembimbing I : Syafrina sari Lubis, M. Si
Pembimbing II : Diannita Harahap, M. Si
Kata Kunci : *Bacillus* sp, logam berat, Antimikrobia

Bakteri *Bacillus* merupakan bakteri yang toleran terhadap toksisitas logam berat serta mampu mereduksi logam berat di lingkungan dengan cara bioakumulasi atau bioabsorbs. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana resistensi *Bacillus* sp. terhadap logam berat Fe, kurva pertumbuhan *Bacillus* sp. tercekam logam Fe, karakteristik bakteri patogen Krueng Aceh dan aktifitas antimikroba *Bacillus* sp. terhadap mikroba patogen. Metode penelitian ini ialah deskriptif dan eksperimental. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa *Bacillus* sp resisten terhadap logam Fe dengan konsentrasi 2000 ppm dan 2500 ppm. Hasil pengukuran kurva pertumbuhan *Bacillus* sp. tercekam logam Fe memasuki fase lag (adaptasi) pada jam ke-0. Kemudian fase log (eksponensial) dimulai dari jam ke-12 sampai jam ke-30, selanjutnya fase stasioner dimulai dari jam ke-30 sampai dengan jam ke-42. Hasil uji karakteristik bakteri patogen didapatkan 14 isolat bakteri patogen, yaitu 4 genus *Klebsiella*, 4 genus *Enterobacter*, dan 6 genus *Staphylococcus*. Hasil uji aktifitas antimikrobia *Bacillus* sp., yang diujikan pada mikroba patogen yaitu *Klebsiella* sp., dan *Staphylococcus* sp memiliki kategori daya hambat lemah yaitu 2,71, 0,51 hal ini menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. tidak mampu menghambat mikroba patogen tersebut.

ABSTRACT

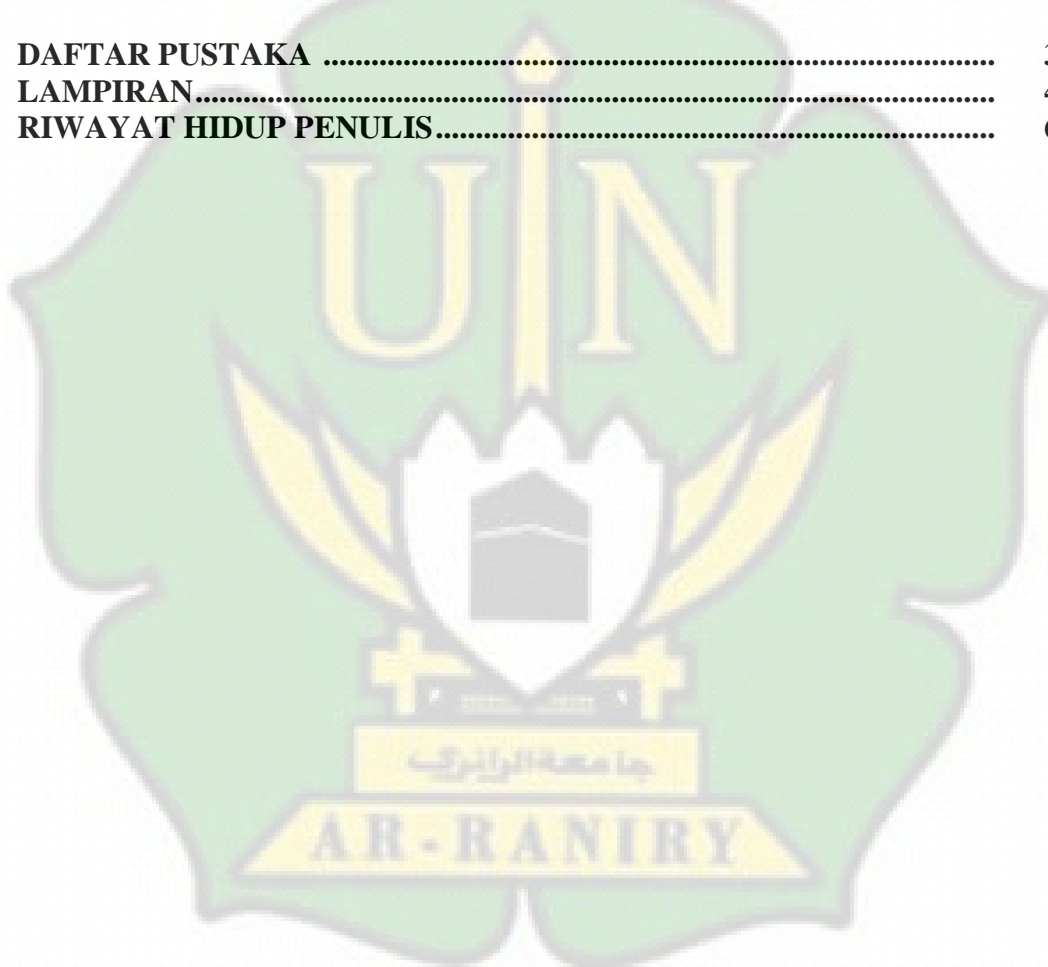
Name : Annisa Rahmah
NIM : 180703061
Study Program : Biology
Faculty : Science and Technology
Title : Ecopotential *Bacillus* sp. from Krueng Aceh:
Bioremediation and Antimicrobial Activity
Supervisor I : Syafrina Sari Lubis, M. Si
Supervisor II : Diannita Harahap, M. Si
Keywords : *Bacillus* sp, Heavy, Antimicrobial

Bacillus bacteria are bacteria that are tolerant to heavy metal toxicity and are able to reduce heavy metals in the environment by bioaccumulation or bioabsorption. This research aims to determine how resistant *Bacillus* sp. against the heavy metal Fe, the growth curve of *Bacillus* sp. affected by Fe metal, characteristics of the Krueng Aceh pathogenic bacteria and the antimicrobial activity of *Bacillus* sp. against pathogenic microbes. This research method is descriptive and experimental. Based on the research results, it is known that *Bacillus* sp is resistant to Fe metal at concentrations of 2000 ppm and 2500 ppm. Results of measuring the growth curve of *Bacillus* sp. exposed to Fe metal with a concentration of 3000 ppm entered the lag phase (adaptation) at hour 0. Then the log (exponential) phase starts from the 12th hour to the 30th hour, then the stationary phase starts from the 30th hour to the 42nd hour. The results of the test for the characteristics of pathogenic bacteria showed that there were 14 isolates of pathogenic bacteria, namely 4 genus *Klebsiella*, 4 genus *Enterobacter*, and 6 genus *Staphylococcus*. The results of the antimicrobial activity test for *Bacillus* sp., which was tested on pathogenic microbes, namely *Klebsiella* sp., and *Staphylococcus* sp., had a weak inhibitory category, namely 2.71, 0.51, this shows that *Bacillus* sp. unable to inhibit these pathogenic microbes.

DAFTAR ISI

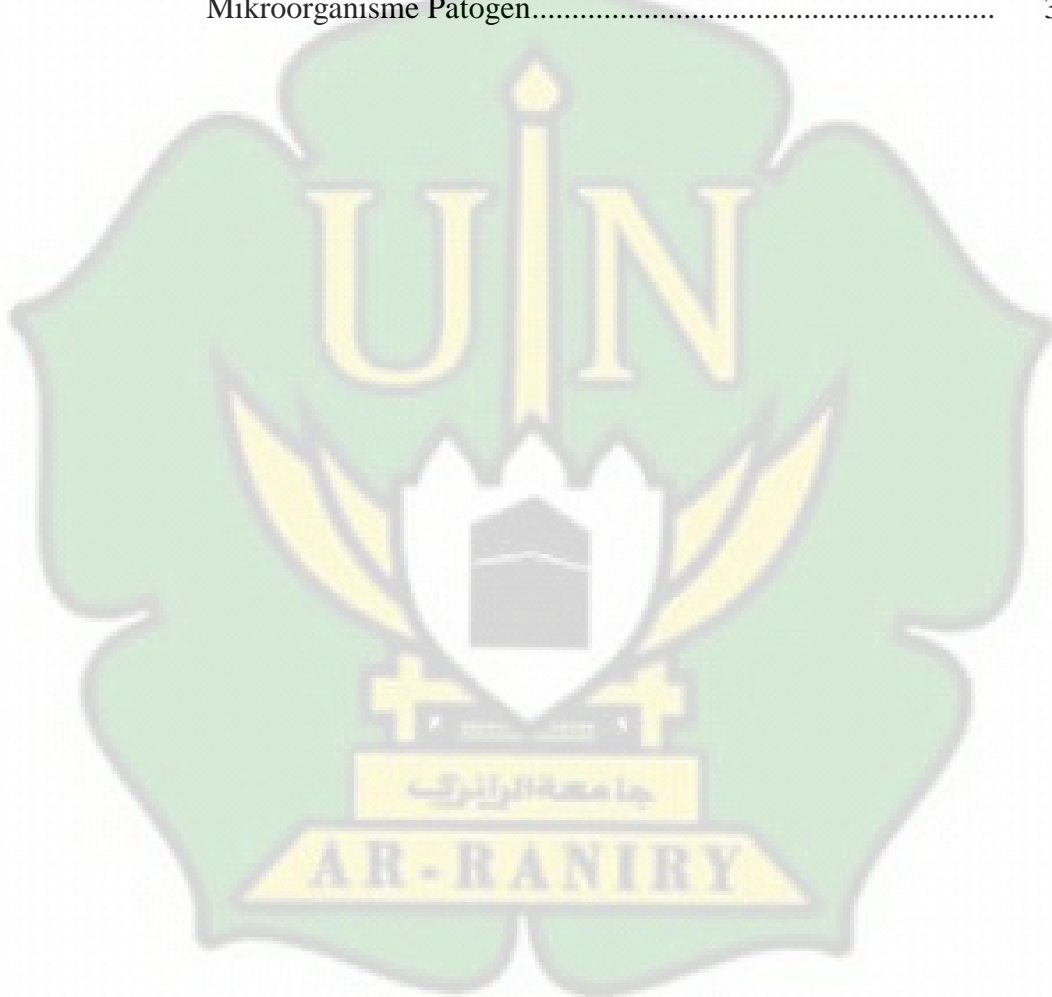
PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI	i
PERSETUJUAN PENGUJI SKRIPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRAC.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian	5
I.4. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Logam Berat	6
II.2 Besi (Fe)	7
II.3 Ekopotensial <i>Bacillus</i> dan Bioremediasi	9
II.4 Ekopotensial <i>Bacillus</i> sebagai Antimikroba	10
II.5 Uji Aktifitas Antimikroba	11
II.6 Uji Bioremediasi	12
II.7 Karakteristik Mikroba Patogen Sungai	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
III.1 Tempat dan Waktu	15
III.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	15
III.3 Jenis Penelitian	15
III.4 Alat dan Bahan.....	16
III.4.1 Alat.....	16
III.4.2 Bahan	16
III.5 Prosedur Penelitian	16
III.5.1 Peremajaan <i>Bacillus</i> sp	16
III.5.2 Isolasi Mikroba Uji	17
III.5.3 Uji Resistensi Bakteri Terhadap Logam Fe (Besi)	21
III.5.4 Pengukuran Kurva Pertumbuhan <i>Bacillus</i>	22
III.5.5 Uji Aktivitas Antimikroba	23
III.6 Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
IV.1 Hasil Penelitian	25
IV.1.1 Resistensi <i>Bacillus</i> sp. Sungai Kreung Aceh Terhadap Fe.....	25
IV.1.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus</i> sp.....	26
IV.1.3 Karakteristik Bakteri Patogen dari Sungai Kreung Aceh.....	27

IV.1.4 Aktivitas Antimikrobia Bakteri <i>Bacillus</i> sp. Terhadap Mikroba Patogen	30
IV.2 Pembahasan	31
IV.2.1 Resistensi <i>Bacillus</i> sp. Sungai Kreung Aceh Terhadap Fe.....	31
IV.2.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus</i> sp.....	32
IV.2.3 Karakteristik Bakteri Patogen dari Sungai Kreung Aceh.....	33
IV.2.4 Aktivitas Antimikrobia Bakteri <i>Bacillus</i> sp. Terhadap Mikroba Patogen	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
V.1 Kesimpulan	37
V.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	45
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	60



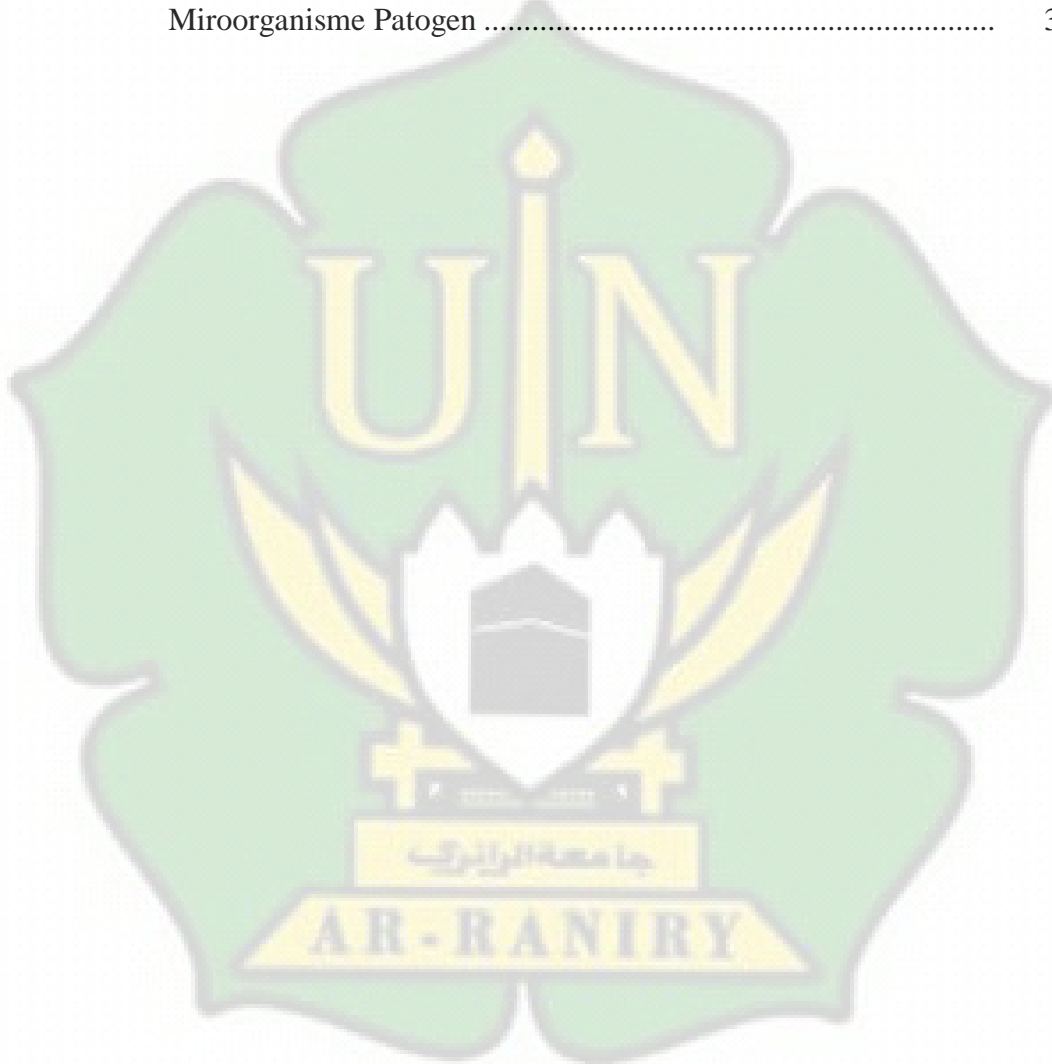
DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1	Lokasi Pengambilan Sampel	17
Gambar III.2	Rumus Perhitungan Zona Hambat.....	23
Gambar IV.1	Isolat Awal Bakteri <i>Bacillus</i> sp. dan Hasil Uji Resistensi <i>Bacillus</i> sp Terhadap Fe dengan Konsentrasi 2000 ppm dan 2500 ppm	25
Gambar IV.2	Grafik Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus</i> sp.	26
Gambar IV.3	Uji Pewarnaan Gram Negatif dan Pewarnaan Gram Positif	27
Gambar IV.4	Hasil Uji Aktivitas Antimikrobia <i>Bacillus</i> sp. Terhadap Mikroorganisme Patogen.....	30



DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Uji Resistensi <i>Bacillus</i> sp. Terhadap Fe.....	25
Tabel IV.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus</i> sp.	26
Tabel IV.3 Karakteristik Bakteri Patogen di Isolasi dari Sungai Krueng Aceh.	28
Tabel IV.4 Data Genus Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri dari Berbagai Sumber	29
Tabel IV.5 Hasil Uji Aktifitas Antimikrobia <i>Bacillus</i> sp. Terhadap Miroorganisme Patogen	30



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Surat keputusan (SK) Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh Mengenai Penetapan Pembimbing Skripsi	45
Lampiran 2.	Surat Izin Penelitian.	46
Lampiran 3.	Laporan Hasil Uji	47
Lampiran 4.	Alur Penelitian.....	48
Lampiran 5.	Dokumentasi Kegiatan di Laboratorium	49
Lampiran 6.	Dokumentasi Hasil Penelitian	50
Lampiran 7.	Dokumentasi Hasil Pewarnaan Gram dan Uji Biokimia.....	51
Lampiran 8.	Data Mentah Hasil Uji Resistensi.....	54
Lampiran 9.	Data Mentah Hasil Uji Antimikrobia.....	56
Lampiran 10.	Biaya Penelitian.....	59



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
DAS	Daerah Aliran Sungai	1
mg/kg	Miligram/Kilogram	2
mg/L	Miligram/Liter	2
mm	Milimeter	22
LAF	Laminar Air FLOW	16
OD	Optical Density	23
NA	Nutrien Agar	16
NB	Nutrien Broth	16
MHA	Muller Hinton Agar	16
BGLB	Brilliant Green Lactose Broth	16
MSA	Mannitol Salt Agar	16
EMBA	Eosin Methylene Blue Agar	16
LB	Lactose Broth	16
Fe	Besi	16
PDA	Potato Dextrose Agar	16
Lambang	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
°	Derajat	17
%	Persen	19
±	Kurang Lebih	22
<	Kurang dari	22
>	Lebih dari	22

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Banda Aceh ialah wilayah yang dilalui oleh aliran sungai, salah satunya ialah Krueng Aceh. Sungai tersebut mengalir jadi dua bagian dari pusat kota yaitu bagian selatan dan utara, sungai Krueng Aceh juga sungai terpanjang dan terbesar. Perkembangan dan tumbuhnya Kota Banda Aceh tidak terlepas dan terpisah dari Sungai Krueng Aceh. Krueng Aceh berperan strategis sebagai pendukung aktivitas perkotaan dan memiliki keindahan yang sangat besar dalam membentuk wajah kota serta peningkat kualitas perkotaan Banda Aceh. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh mempunyai luas $\pm 1.755 \text{ km}^2$ dengan panjang $\pm 145 \text{ km}$, dengan aliran hulu di Cot Seukek, Aceh Besar sampai hilir di dermaga Nelayan Lampulo, Banda Aceh (Rahmat *et al.*, 2018).

Pembuangan yang terjadi dari limbah domestik tanpa pengolahan ataupun yang diolah tapi kadar dari polutannya masih di atas baku mutu yang ditentukan mengakibatkan pencemaran air. Pencemaran dapat memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan serta perairan, Muara Krueng Aceh merupakan sumber pencemar yang terduga memberikan dampak tersebut. Daerah perairan muara Krueng diduga telah mengalami pencemaran yaitu baik berupa sampah organik, limbah domestik, aktivitas perkapalan, logam berat serta tumpahan minyak yang terjadi seiring waktu terus bertambah sehingga melebihi batasnya (Hadi *et al.*, 2018). Pencemaran air yaitu masuknya makhluk hidup, energi, zat serta komponen-komponen lain ke dalam air atau berubahnya struktur air akibat proses alami maupun aktivitas manusia hingga dampaknya kualitas air turun dan tidak dapat dipergunakan sesuai dengan fungsinya lagi (Pratiwi, 2020).

Logam berat ialah bagian alamiah yang terdapat pada kulit bumi serta tidak mudah untuk dihancurkan atau didegradasi dan logam berat adalah zat yang berbahaya karena dapat mengakibatkan terjadinya bioakumulasi. Bioakumulasi merupakan peningkatan konsentrasi polutan didalam tubuh organisme dalam jangka waktu yang lama, dibandingkan dengan konsentrasi polutan yang berada di lingkungan (Adhani, 2017).

Limbah logam berat yang di buang ke lingkungan dapat mempengaruhi tanah, air dan atmosfer. Pencemaran yang paling berbahaya akibat logam berat merupakan pencemaran perairan karena air ialah elemen esensial untuk keberlangsungan semua kehidupan. Alam mampu memulihkan kerusakan lingkungan, namun kerusakan atau pencemaran yang parah akan sulit dipulihkan kembali sehingga metode remediasi dilakukan untuk membantu mengatasi kerusakan lingkungan (Irawati, 2019).

Terdapat 2 jenis pembagian logam berat diantaranya logam berat esensial serta logam berat non esensial. Logam berat yang diperlukan oleh organisme dalam jumlah tertentu yaitu logam berat esensial. Tetapi akan menimbulkan sifat beracun apabila terdapat dalam jumlah yang banyak. Contohnya: Co, Fe, Cu, Mn, Zn, dan lainnya. Sedangkan logam berat non esensial yaitu logam yang belum diketahui pemanfaatannya dalam tubuh dan sifatnya toksin. Contohnya Cr, Hg, Pb, Cd dan lainnya (Irhamni *et al.*, 2017).

Besi (Fe) adalah mikroelemen yang mendasar bagi tubuh, besi dibutuhkan dalam proses pembentukan darah (*hematopoiesis*) yaitu dalam sintesa haemoglobin. Walaupun dibutuhkan di dalam tubuh, tapi jika dalam kadar berlebih dapat menyebabkan dinding usus rusak. Fe juga dapat terakumulasi dalam alveoli sehingga mengakibatkan kurangnya fungsi paru - paru (Murraya *et al.*, 2018).

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi Fe pada perairan Krueng Aceh, Jln. Teuku di Anjong, Gampong Jawa, Kec. Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Aceh adalah sebesar 1886 mg/kg dan menunjukkan bahwa logam Fe pada perairan tersebut di atas ambang baku mutu. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 baku mutu logam Cd, Pb dan Fe masing-masing adalah 0,01; 0,03; dan 0,3 mg/L (Kiswandono *et al.*, 2022). Fe yang terdapat di perairan dapat bersumber dari tanah serta dapat juga bersumber dari lainnya, seperti cemaran dari besi, pengendapan dari pembuangan industri ataupun larutnya logam besi. Kadar besi yang rendah di tubuh manusia memiliki fungsi sebagai pembentukan sel-sel darah merah, namun jika dosisnya lebih dari yang dibutuhkan oleh tubuh, maka akan menyebabkan masalah kesehatan, yaitu

mengganggu pernafasan, iritasi pada mata dan kulit, dan jika terus berlanjut dapat menyebabkan kanker (Kurniawan *et al.*, 2020).

Bakteri yang berasal dari lingkungan yang tercemar logam berat memiliki daya resisten terhadap logam yang berada disekitarnya dan mempunyai kemampuan adaptasi genetic. Resistensi dapat melalui mekanisme biosorpsi dan bioakumulasi. Menyerapnya logam, senyawa ataupun larutan yang tidak memerlukan energi (metabolism) ialah biosorpsi. Bioakumulasi (absorbs) merupakan proses mengambil logam secara aktif dengan penggunaan energi berdasarkan pengikatan dan transport aktif (Fahrudin *et al.*, 2019).

Mekanisme toleransi mikroba terhadap logam berat dengan cara kompleksasi meliputi polisakarida ekstraseluler yang mempunyai anion serta memiliki fungsi sebagai bioakumulator yang efisien, produksi metabolit organik yang mempunyai sifat pengkelat dan membentuk kompleks dengan logam, Kristalisasi ekstraseluler, dan presipitasi. *Bacillus* merupakan salah satu bakteri yang resisten akan logam berat. Beberapa genus *Bacillus* dalam penelitian dijelaskan resisten terhadap logam berat Pb, Cu, Fe, Hg, Mn, As, dan Cd. Genus ini merupakan golongan genus yang banyak di alam. Perbedaan karakteristik dari genus ini dengan genus lain adalah Gram positif, bentuk batang, sifat aerobik atau anaerobik fakultif, produksi endospore serta katalase (Farisna & Zulaika, 2015).

Menurut Rahmawati & Zulaika (2021) bakteri ialah salah satu agen hayati yang dapat dipergunakan untuk pemanfaatan dalam bioremediasi karena bakteri akan mencari cara agar dapat bertahan hidup, mekanisme dalam bioakumulasi dan bioadsorpsi. Bakteri resisten logam berat termasuk logam Fe dapat melakukan bioakumulasi, pada mekanisme respirasi sel logam berat sebagai penerima elektron. Bakteri mampu memproduksi polisakarida ekstraselular yang memiliki fungsi sebagai tempat membentuk metalothionein atau bioadsorpsi ialah suatu protein yang akan mengkelat pada logam untuk detoksifikasi serta regulasi ion logam di dalam sel. Isolat bakteri *Bacillus*, *Sporosarcina*, dan *Lysinibacillus* memiliki kemampuan dalam resistensi logam berat Fe (besi).

Menurut Rahadi (2019) Bakteri *Bacillus* ialah bakteri yang mempunyai toleransi terhadap toksisitas logam berat dan mempunyai kemampuan menghilangkan logam berat di lingkungan dengan cara menyerapnya. Genus

Bacillus mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain karena *Bacillus* dapat menghasilkan senyawa antibakteri yaitu bakteriosin. Bakteriosin adalah senyawa peptide memiliki keuntungan yaitu dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme lainnya, tidak bersifat toksik, dan mudah terdegradasi oleh enzim proteolitik, dan tidak berbahaya terhadap mikroflora di usus karena mudah dicerna oleh enzim pencernaan (Ambarwati & Ibrahim, 2021).

Bakteri coliform adalah bakteri yang sering digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan. Bakteri coliform yang terdapat pada perairan dapat menunjukkan kemungkinan terdapatnya mikroorganisme yang memiliki sifat enteropatogenik dan toksigenik yaitu mampu mempengaruhi kesehatan biota dan manusia. Bakteri coliform memiliki bentuk batang dan Gram negatif beberapa bakteri coliform diantaranya yaitu *Klebsiella* sp., *Escherichia coli* dan *Enterobacter* sp (Saputri & Efendy, 2020).

Menurut Novitasari *et al* (2019) *Staphylococcus aureus* ialah bakteri yang berbentuk bulat gerombol seperti anggur serta koloni keemasan (*aureus*), dan Gram positif. *S. aureus* adalah salah satu bakteri patogen yang keberadaannya sering terdapat di dalam susu yang terkontaminasi. *S. aureus* sering menjadi penyebab mastitis subklinis dan mastitis kronis, hingga terjadinya mastitis sering berhubungan dengan infeksi *Staphylococcus aureus*.

Berdasarkan data dan latar belakang telah terdapat bakteri resisten logam berat Fe yang diisolasi, maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui aktifitas antimikrobal dan resisten logam Fe pada bakteri dari Krueng Aceh. Oleh karena itu perlu dilakukan uji resistensi bakteri terhadap logam berat Fe dan uji antimikrobal bakteri *Bacillus* sp. terhadap mikroorganisme patogen. Mikroba patogen yang akan digunakan adalah *Coliform* dan *Staphylococcus*.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan resistensi bakteri terhadap logam berat Fe di perairan Krueng Aceh?
2. Bagaimana kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. yang tercekam logam berat Fe?
3. Bagaimana karakteristik bakteri bakteri patogen dari Krueng Aceh?

4. Bagaimana aktifitas antimikrobal bakteri *Bacillus* sp. terhadap mikroorganisme patogen?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kemampuan resistensi bakteri terhadap logam berat Fe di Krueng Aceh.
2. Untuk mengetahui kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. yang tercekam logam berat Fe.
3. Untuk mengetahui karakteristik bakteri patogen dari Krueng Aceh.
4. Untuk mengetahui aktifitas antimikrobal bakteri *Bacillus* sp. terhadap mikroorganisme patogen.

I.4 Manfaat Penelitian

1. Untuk memberikan informasi tentang aktifitas antimikrobal dan resisten logam Fe pada bakteri dari Krueng Aceh.
2. Untuk menambah informasi tentang karakteristik bakteri patogen dari Krueng Aceh dan kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. tercekam logam berat Fe.
3. Untuk menambah ilmu tentang aktifitas antimikrobal dan resisten logam Fe pada bakteri dari Krueng Aceh.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Logam Berat

Logam berat merupakan suatu zat pencemar yang memiliki sifat beracun bagi kesehatan masyarakat serta lingkungan di area perairan. Secara kimia dan biologis logam berat tidak dapat terdegradasi sehingga akan sulit dihilangkan dari lingkungan. Logam berat banyak terdapat di daerah tambang, limbah industri dan pembuangan lumpur (Dawaiyah, 2020). Menurut perannya dalam sistem biologis logam berat dapat di klasifikasikan sebagai esensial dan non-esensial. Logam berat esensial diperlukan oleh organisme untuk mendukung fisisologis dan biokimia dalam jumlah yang sedikit, contohnya Zn, Cu, Ni, Mn dan Fe. Sedangkan logam berat non-esensial tidak diperlukan oleh organisme sebagai pendukung fungsi fisiologis dan biokimia, contohnya As, Hg, Cr dan Pb. Biomagnifikasi adalah suatu kejadian yang dapat terjadi apabila unsur logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme (bioakumulasi) serta konsentrasi meningkat apabila melewati trofik rendah ke trofik tinggi. (Handayanto *et al.*, 2017).

Terdapatnya logam berat di dalam air dari sumber alami dapat berasal dari partikel logam di udara, pengikisan dari batu mineral, dan aktivitas dari manusia seperti buangan dari rumah tangga atau buangan sisa-sisa industri. Selain mencemari lingkungan perairan, logam berat juga terendap pada dasar perairan dan memiliki waktu tinggal (*residence time*) hingga ribuan tahun. Logam berat akan masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui proses biomagnifikasi dan bioakumulasi dengan beberapa cara: melalui kulit, melalui saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Logam berat sangat berbahaya apabila di makan oleh makhluk hidup terutama makhluk hidup yang mencari makanan di dasar perairan yang tercemar logam berat. (Syaifullah *et al.*, 2018).

Logam terdapat dalam berbagai bentuk kimia dan dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya akibat adanya perubahan sifat fisiokimia dari lingkungan dimana logam itu berada serta aktivitas organisme dan manusia. Umumnya, logam memiliki manfaat bagi manusia karena penggunaannya pada bidang kedokteran, industri, dan pertanian. Sebagiannya adalah unsur penting

karena dibutuhkan dalam berbagai fungsi biokimia. Logam juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia apabila diperoleh dalam jumlah yang berlebihan di lingkungan dan makanan (Fahrudin *et al.*, 2020).

Keberadaan pencemaran lingkungan akibat logam berat dapat mempengaruhi proses biologis organisme akuatik dan mampu mengancam keberlangsungan hidup termasuk manusia melalui rantai makanan. Sumber logam berat dapat berasal dari sumber alami seperti deposi atmosfer serta pelapukan bebatuan dan juga dapat bersumber dari antropogenik yaitu pertanian, peternakan, domestik dan industri (Patty *et al.*, 2018).

Logam berat tidak hanya terdapat di perairan saja tetapi logam berat juga terdapat pada tanah. Penggunaan bahan kimia yang mengenai tanah, hujan ataupun pengendapan, pengikisan tanah dan penimbunan debu dapat menyebabkan logam masuk ke dalam tanah. Secara alami tanah mengandung logam berat, namun sebagian dari logam berat berperan dalam fisiologis tanaman contohnya Zn, Ni, Cu dan Fe tapi dalam jumlah relatif sangat sedikit, jika berlebihan akan memberi efek toksik terhadap tanaman (Winarmadani, 2019).

II.2 Besi (Fe)

Besi (Fe) merupakan logam berat yang tahan dengan korosif, rendah titik lebur serta padat. Fe sering dijumpai di dalam makanan dengan jumlah yang berbeda-beda, dari jumlah tinggi di daging serta yang rendah di sayuran. Fe di dalam perairan dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui permukaan tubuh, terserap insang serta rantai makanan. Logam berat yang telah masuk ke dalam tubuh ikan menumpuk di dalam tubuh ikan hal ini mengakibatkan logam berat tidak dapat dikeluarkan sehingga Fe akan ada sepanjang rantai makanan (Ainiyah *et al.*, 2018).

Besi merupakan unsur yang ditemukan pada air permukaan dan air tanah dan salah satu unsur penting. Kandungan besi yang tinggi di dalam air tidak diinginkan untuk keperluan rumah tangga, disebabkan mampu mengakibatkan bekas karat pada baju, porselin dan alat lainnya, dan jika berada di atas konsentrasi 0,3 mg/L akan menimbulkan rasa yang tidak enak (Mastiani *et al.*, 2018).

Adanya Fe di perairan dapat menimbulkan pertumbuhan bakteri, rasa anyir, warna kuning, dan secara keseluruhannya terdapatnya Fe dalam air menimbulkan keruh. Fe yang terdapat di air akan memiliki bentuk ion valensi 2 (Fe^{2+}) dan valensi 3 (Fe^{3+}). Bentuk ikatan dapat berbentuk Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau FeSO_4 tergantung dari unsur lain yang mengikat. Pemerintah melalui PP RI Nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air serta pengendalian pencemar air, untuk kualitas mutu sungai kelas I ditetapkan konsentrasi besi yang masih dapat diterima adalah 0,3 mg/L. Melakukan pengolahan yang tepat perlu dilakukan untuk menurunkan kadar logam terlarut hingga memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. (Kurniawan *et al.*, 2020).

Kandungan besi yang terdapat di perairan bersumber dari suatu larutan bebatuan yang memiliki kandungan senyawa Fe seperti pirit. Namun pembuangan limbah industri mempunyai kandungan besi yang asalnya dari korosi pipa-pipa air mineral logam sebagai hasil elektro kimia yang terjadi pada perubahan air yang mengandung padatan larut mempunyai sifat menghantarkan listrik serta mempercepat terjadi korosi (Kamarati *et al.*, 2018).

Pencemaran yang disebabkan oleh logam sangat bahaya karena memiliki sifat beracun, selain itu logam berat juga akan terkumpul dalam sedimen serta biota melalui proses gravitasi. Keberadaan Fe di perairan membuat air berubah berwarna coklat setelah beberapa saat berkontak langsung dengan udara. Fe dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan usus, menimbulkan warna kuning di bak penampungan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Meningkatnya permeabilitas dinding pembuluh darah kapiler hingga plasma darah merembes keluar dan menjadi (Pratama, 2017).

Limbah logam berat adalah ancaman bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup karena semakin banyaknya jumlah logam yang terlepas ke lingkungan akibat dari aktivitas kegiatan manusia. Ion besi (Fe) merupakan senyawa yang apabila jumlah yang berada dilingkungan melebihi ambang batas akan sangat berbahaya bagi keberlangsungan makhluk hidup. Namun jika dalam jumlah yang tidak melebihi ambang batas maka Fe berfungsi sebagai mikronutrien. Selain Fe golongan yang dalam kadar tertentu memiliki fungsi

sebagai mikronutrien dan memiliki manfaat bagi kehidupan organisme yaitu Co, Cu dan Zn (Karim *et al.*, 2017).

Besi adalah mineral mikro terbanyak yang terdapat di dalam tubuh. Secara umum, tanpa melihat berat badan, kebutuhan tubuh orang dewasa terhadap mineral adalah berkisar antara 1-18 mg. pada laki-laki dewasa, jumlah mineral besi dapat mencapai 3-5 gram atau sekitar 45 mg/kg berat badan, sedangkan pada wanita mencapai 40 mg/kg berat badan. pada bayi kadar zat besi dapat mencapai 70 mg/kg berat badan sedangkan bagi ibu hamil kebutuhan terhadap zat besi adalah kebutuhan dasar ditambah dengan 50 mg (Purnamasari *et al.*, 2022).

II.3 Ekopotensial *Bacillus* dan Bioremediasi

Bakteri adalah salah satu golongan mikroorganisme sel tunggal (prokariotik), hidup berkoloni serta tidak memiliki selubung inti tetapi mampu hidup dimana saja. Bakteri dapat diklasifikasikan menjadi 2: bakteri Gram negatif dan Gram positif. Bakteri Gram negatif dan Gram positif beberapa diantaranya adalah flora normal di tubuh manusia. Mikroorganisme yang menempati daerah tanpa menyebabkan penyakit bagi host yang ditempati merupakan flora normal. Pada kulit normal biasa ditempati sekitar 10^2 - 10^6 CFU/cm² bakteri. Sebagian dari bakteri Gram negatif serta positif jika mencapai batas dari yang ditentukan dapat menimbulkan penyakit misalnya *Staphylococcus aureus* jika jumlah mencapai 1.000.000 atau 10^6 per Gram akan menyebabkan penyakit karena jumlahnya yang cukup untuk produksi racun (Holderman *et al.*, 2017).

Bakteri yang terisolasi dari wilayah yang mengalami pencemaran logam berat memiliki daya tahan resisten serta dapat menyesuaikan diri secara genetik akan logam berat di bagian yang tercemar (Fahrudin *et al.*, 2019). Beberapa mikroorganisme memiliki kemampuan resistensi terhadap logam berat contohnya, *Acinetobacter* sp. yang dapat menurunkan kadar logam berat Zn, Fe dan Mg. Mikroorganisme yang terpapar logam berat mencari cara untuk bertahan hidup. Beberapa mekanisme yang dilakukan bakteri dalam meresistensi logam berat diantaranya yaitu biosorpsi dan bioakumulasi. Biosorpsi merupakan mekanisme resisten bakteri yang terjadi karena terdapatnya interaksi fisiokimia antara dinding sel bakteri dengan ion logam berat. Mekanisme resistensi bakteri dengan

biokumulasi ialah dengan cara pengakumulasian logam berat di dalam sel (Parhusip *et al.*, 2020).

Bakteri *Bacillus* merupakan salah satu bakteri yang resisten terhadap logam. Dalam penelitian menjelaskan bahwa beberapa genus dari *Bacillus* memiliki daya resistensi terhadap logam berat Pb, Mn, Hg, Cu, Cd, As dan Fe. Genus *Bacillus* adalah golongan bakteri yang melimpah di alam. Karakteristik yang berbeda antara genus ini dan genus bakteri lain ialah bentuk batang, Gram positif, sifat aerobik dan anaerobik fakultif, katalase positif serta produksi endospora (Farisna & Zulaika, 2015).

II.4 Ekopotensial *Bacillus* sebagai Antimikroba

Antimikroba adalah senyawa kimia atau biologis yang memiliki sifat penghambat tumbuhnya bakteri ataupun kapang (bakteriostatik/fungistatik) serta membunuh bakteri ataupun kapang (bakterisidal/fungisidal) (Yanis *et al.*, 2020). Mekanisme pengendalian patogen dengan *Bacillus* adalah antibiosis yaitu menghambat patogen dengan cara menghasilkan senyawa baik itu antibiotik, enzim maupun senyawa lain yang mudah menguap. Mekanisme antibiosis dalam pengujian *in vitro* ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni antagonis (Prihatiningsih *et al.*, 2021).

Bakteri genus *Bacillus* mampu menghasilkan beberapa peptida yang memiliki peran sebagai antifungi serta antibiotik, seperti: *subtilosin*, *subtilin*, *mycobactilin*, *ituirin*, *surfactin*, *cerexin*, *subsporin*, *bacilysin*, *bacillomycin*, *bacilyocin*, *fengycin*, dan *asam sianida*. Sintesis antibiotik pada *Bacillus* dikontrol oleh beberapa gen yang ekspresinya dikontrol sesuai dengan kondisi lingkungan tempat bakteri hidup (Suada, 2017).

Bakteriosin merupakan senyawa antibakteri yang dihasilkan Genus *Bacillus* yang mampu menghambat tumbuhnya mikroorganisme lain. Bakteriosin adalah senyawa peptida yang memiliki keuntungan yaitu tidak beracun, mudah terdegradasi oleh enzim proteolitik dan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain dan juga tidak bahaya akan mikroflora di usus karena mudah dicerna oleh enzim pencernaan. Genus *Bacillus* mampu menghasilkan senyawa bakteriosin dengan jumlah berkisar 167 dan 66 dari senyawa antibiotik tersebut

asalnya dari spesies *B.subtilis*. *Bacillus subtilis* mampu menghasilkan senyawa bakteriosin diantaranya yaitu *subtilin*, *difficidin*, *basitrasin*, *mycobacilin*, serta *polymixin*. *Bacillus subtilis* dapat menghambat pertumbuhan *Serratia marcescens*. *Bacillus subtilis* sifatnya antagonis terhadap bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila*, dan *Staphylococcus aureus*. *Bacillus subtilis* dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas florescens* serta *Streptococcus iniae* (Ambarwati, 2021).

Bakteri *Bacillus subtilis* sering digunakan sebagai probiotik oral dan bakteri ini adalah bakteri Gram positif, non-patogen, dan umum digunakan sebagai organisme anti diare. Adanya aktifitas antibakteri pada bakteri ini dikarenakan oleh genus *Bacillus* mempunyai senyawa bakteriosin dengan karakter yang spesifik. *Bacillus subtilis* menghasilkan bakteriosin dengan jenis *bacillocin*. Bakteriosin merupakan protein atau polipeptida pendek yang mengandung gen toksin, gen lisis dan gen imunitas hingga mampu mengikat dan kemudian membunuh sel-sel yang permukaan reseptornya dikenali oleh bakteriosin (Budianto & Suprastyani, 2017).

Bacillus megaterium dan *Bacillus subtilis* juga mempunyai kemampuan sebagai antifungi antara lain fengisin atau plipastatin, iturin dan surfaktin. Iturin, fengisin serta surfaktin dapat mengurangi perkembangan penyakit oleh jamur patogen. *Bacillus megaterium* dan *bacillus subtilis* selain menghasilkan senyawa antifungi juga menghasilkan enzim kitinase. Enzim kitinase dapat merusak dinding sel jamur yang tersusun oleh kitin, sehingga menghambat pertumbuhan sel jamur (Rochmawati & Trimulyono, 2021).

II.5 Uji Aktifitas Antimikrobia

Menurut Yanis *et al.*, (2020) antimikroba adalah senyawa kimia atau kimia yang memiliki sifat penghambat tumbuhnya bakteri atau kapang (bakteriostatik/fungistatik) serta membunuh bakteri atau kapang (bakterisidal/fungisidal). Terdapatnya senyawa aktif antimikroba di dalam bidang kesehatan ialah informasi yang berguna untuk mengurangi penyakit yang diakibatkan oleh mikroba (Mujipradhana *et al.*, 2018).

Menurut Dewi (2019) mekanisme kerja antimikroba yaitu:

1. Antimetabolit, yaitu terjadinya *blockade* pada tahap metabolisme spesifik mikroba.
2. Menghambat sintesis dinding sel, yaitu menyebabkan dinding sel mati dan sel menjadi lisis.
3. Menghambat fungsi membrane sel, yaitu dengan mempengaruhi permeabilitas membran sel sehingga terjadinya kebocoran sel.
4. Menghambat sintesis protein dan menghasilkan protein abnormal.
5. Menghambat sintesis asam nukleat melalui penghambatan enzimnya.

Pengujian antimikroba adalah metode yang memiliki tujuan sebagai penentuan konsentrasi zat antimikroba hingga diperoleh suatu pengobatan yang efektif serta efisien. Ada dua metode yang dapat dilakukan sebagai pengujian antimikroba diantaranya dilusi dan difusi. Menurut Muslimin (2019) metode difusi dan dilusi dapat dibagi jadi beberapa metode, diantaranya:

- a. Metode difusi yaitu mengukur serta mengamati diameter zona bening yang di sekitar disk, pengukuran dilakukan dengan jangka sorong setelah masa inkubasi 18-24 jam. Metode difusi meliputi yaitu metode *disc diffusion* atau metode *Kirby Baure*, metode *E-Test*, *ditch plate technique*, *cup-plate technique*, dan *gradient-plate technique*.
- b. Metode dilusi ada dua, yaitu metode *solid dilution test*/ dilusi padat serta metode *broth dilution test*/ dilusi cair.

II.6 Uji Bioremediasi

Bioremediasi merupakan proses mengurai limbah organik/anorganik polutan dengan penggunaan organisme (bakteri, fungi, enzim atau tanaman) dalam pengendalian pencemar pada kondisi terkontrol untuk menjadi bahan yang tidak membahayakan ataupun konsentrasi di bawah baku mutu yang telah ditetapkan dengan tujuan mengontol ataupun mereduksi bahan pencemar dari lingkungan. Bioremediasi ialah pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan pemanfaatan proses biologi dalam pengendalian pencemaran (Anggreini, 2019). Ada 2 jenis bioremediasi *ex situ* serta *in situ*.

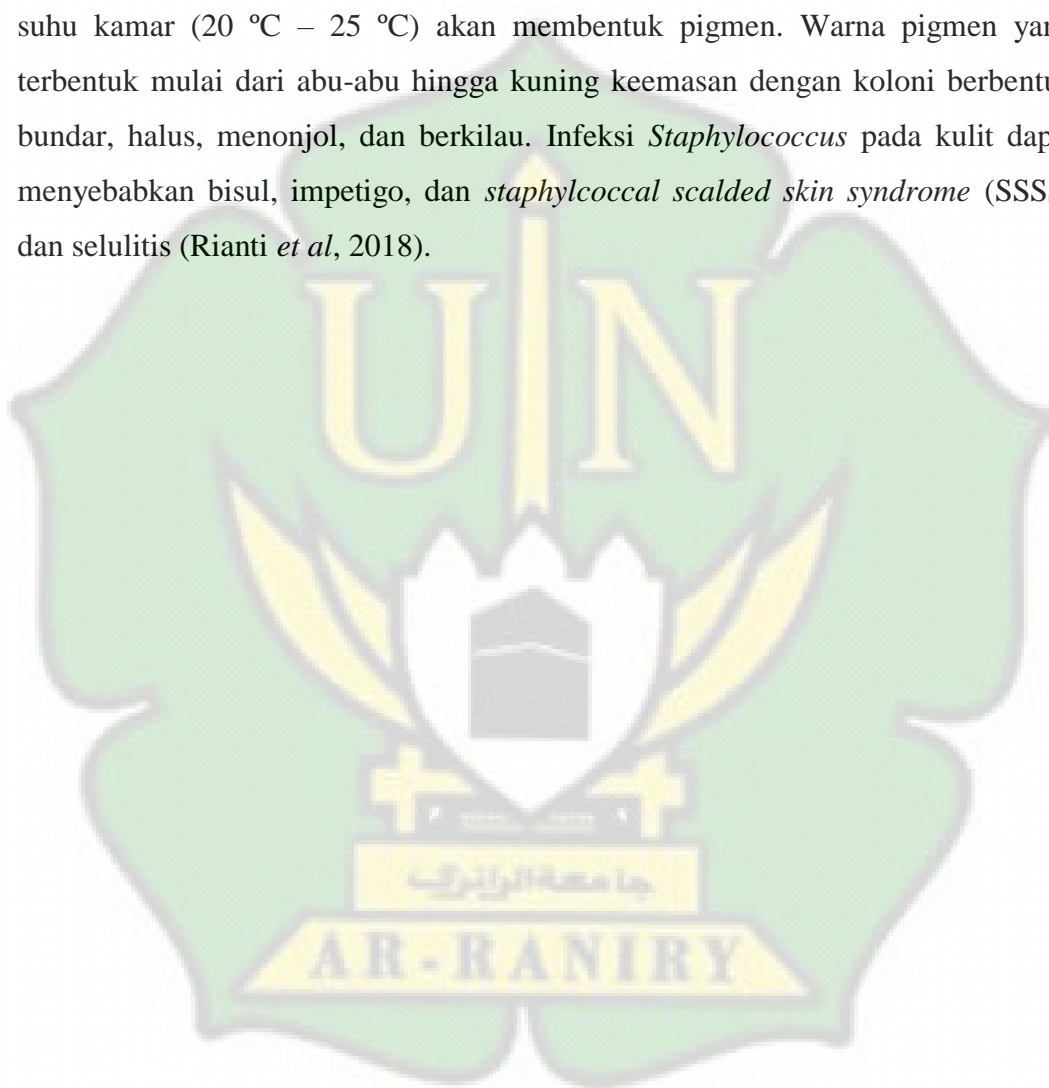
Bioremediasi *in situ* yaitu metode yang dapat dikerjakan dengan berbagai cara untuk pengampliasian mikroorganisme secara langsung dalam lingkungan yang tercemar. Metode tersebut dikerjakan secara bioaugmentasi ataupun biostimulasi. Bioaugmentasi dikerjakan dengan penambahan mikroorganisme pengurai sebagai pelengkap populasi yang telah ada sedangkan biostimulasi dilakukan dengan penambahan nutrisi atau zat gizi yang dikerjakan atau stimulus keadaan lingkungan agar mikroorganisme mampu tumbuh optimum (Jekti, 2018). Sedangkan bioremediasi *ex situ* adalah metode mengaplikasikan mikroorganisme dalam tanah ataupun air tercemar yang telah dipindah dari tempat asal (Rohmah, 2017).

II. 7 Karakteristik Mikroba Patogen Sungai

Mikroba merupakan organisme yang dapat hidup bebas di berbagai macam lingkungan, mikroba ini dapat tersebar di udara, air, tanah, benda kemudian juga dapat hidup ditubuh manusia. Mikroba ada yang bersifat patogen namun ada pula yang non patogen. Jika hanya dilihat dengan kasat mata, jenis-jenis bakteri tersebut tidak bisa dibedakan sehingga identifikasi bakteri perlu dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis bakteri. Beberapa bakteri coliform, *Eschericia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus* sp., *Vibrio* sp. dan *Aeromonas* sp. merupakan beberapa contoh bakteri patogen yang terdapat pada sungai (Afianti & Sutiknowati, 2020).

Bakteri koliform dapat digunakan sebagai indikator karena densitasnya berbanding lurus dengan tingkat pencemaran air. Bakteri ini dapat mendeteksi patogen pada air seperti virus, protozoa, dan parasit. Beberapa contoh bakteri coliform diantaranya ialah *Klebsiella* sp., *Enterobacter* sp., *Citrobacter* dan *Escherichia coli*, makin sedikit kandungan coliform artinya kualitas air semakin baik. Bakteri Coliform merupakan bakteri Gram negative dan memiliki bentuk batang bersifat anaerob atau fakultif anaerob, tidak membentuk spora serta dapat memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada suhu 35 °C – 37 °C. infeksi yang disebabkan oleh bakteri coliform dapat menyebabkan penyakit diare, tifus disentri basiler (Adrianto, 2018).

Bakteri *Staphylococcus* adalah flora normal yang terdapat pada kulit dan membran mukosa alat pencernaan dan pernapasan. *Staphylococcus* juga dapat ditemukan pada makanan seperti daging dan susu. *Staphylococcus* adalah bakteri dengan Gram positif, bentuknya bulat dengan diameter 0,7-1,2 μm , berkelompok tidak teratur seperti buah anggur, tidak membentuk spora, fakultatif anaerob, dan tidak bergerak. Suhu optimum untuk pertumbuhannya adalah 37 °C, namun pada suhu kamar (20 °C – 25 °C) akan membentuk pigmen. Warna pigmen yang terbentuk mulai dari abu-abu hingga kuning keemasan dengan koloni berbentuk bundar, halus, menonjol, dan berkilau. Infeksi *Staphylococcus* pada kulit dapat menyebabkan bisul, impetigo, dan *staphylococcal scalded skin syndrome* (SSSS) dan selulitis (Rianti *et al*, 2018).



BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu

Penelitian telah dilaksanakan pada Laboratorium Multifungsi, Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penelitian dimulai pada 16 Mei sampai dengan 5 Oktober 2023.

III.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan kurang lebih sekitar 4 bulan mulai dari Mei hingga Oktober jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Kegiatan	Mei		Juni				Juli				Agustus				September				Oktober			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
Persiapan Alat dan Bahan																						
Pengambilan Sampel																						
Isolasi Bakteri Uji																						
Uji Biokimia																						
Uji Resistensi																						
Uji Antimikrobia																						
Ukur Kurva Pertumbuhan																						
Analisis Data																						

III.3 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dipergunakan pada penelitian ini ialah deskriptif dan eksperimental. Penelitian deskriptif meliputi isolasi serta identifikasi bakteri patogen dari muara sungai Krueng Aceh, Jln. Teungku di Anjong, Gampong Jawa, Kec. Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Aceh. Adapun titik koordinat pengambilan sampel yaitu Lintang 5.571031°N dan Bujur 95.321576°E. Sedangkan penelitian eksperimental dilakukan untuk pengujian tingkat resisten isolat bakteri terhadap perbedaan konsentrasi logam berat besi (Fe) serta

dilanjutkan dengan uji aktivitas antimikrobal bakteri *Bacillus* terhadap mikroorganisme patogen.

III.4 Alat dan Bahan

III.4.1 Alat

Alat-alat yang dipergunakan pada penelitian ini yaitu batang L, gelas ukur, *Laminar Air Flow* (LAF), autoklaf, *hot plate*, cawan petri, mikroskop, jarum ose, rak tabung reaksi, inkubator, bunsen, mikropipet, gelas objek, jangka sorong, pipet tetes, plastik wrap, spatula, erlenmeyer, tabung reaksi, aluminium foil, paper disk, gelas beker, spiritus, dan timbangan analitik.

III.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan pada penelitian ini ialah isolat bakteri yang didapat dari perairan Krueng Aceh, Banda Aceh, Aceh. Aquades, alkohol 70%, media *Mannitol Salt Agar* (MSA), *Lactose Broth* (LB), *Nutrient Agar* (NA), *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB), *Nutrient Broth* (NB), *Muller Hinton Agar* (MHA), *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA), besi (Fe), *Bacillus* dan *Candida albicans* diambil dari koleksi kultur Laboratorium Mikrobiologi dan *Staphylococcus* serta *Coliform* diisolasi dari perairan Krueng Aceh, Jln, Tgk. Di Anjong, Gampong Jawa, Kec. Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Aceh.

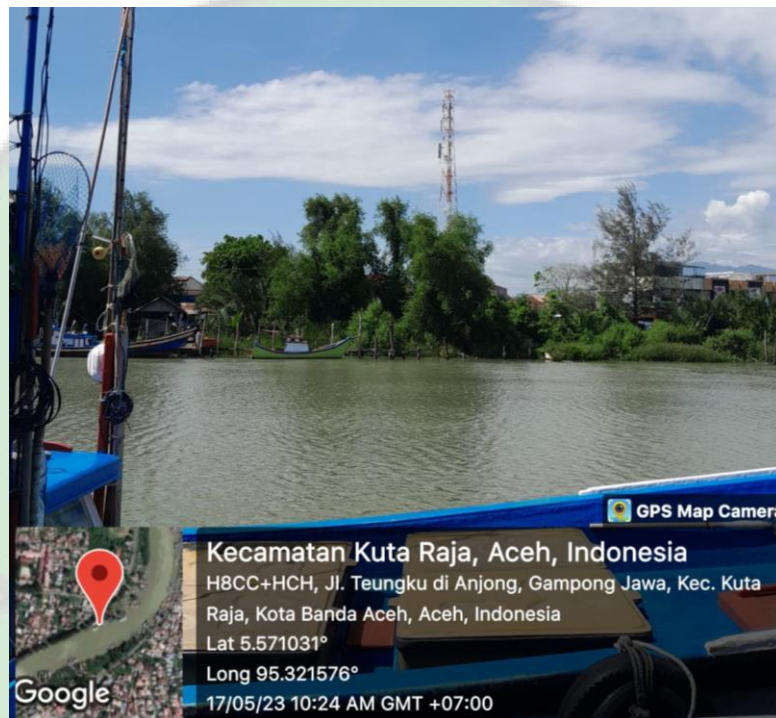
III.5 Prosedur Penelitian

III.5.1 Peremajaan *Bacillus* sp.

Isolat bakteri *Bacillus* sp. merupakan bakteri idigen yang diisolasi dari Krueng Aceh dan diperoleh dari koleksi Laboratorium gedung Multifungsi fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh. Isolat bakteri diambil dengan melakukan peremajaan bakteri yaitu dengan mengambil isolat bakteri sebanyak 1 ose secara aseptik dan ditumbuhkan pada medium *Nutrient Agar* (NA), lalu diinkubasi pada suhu 37 °C (Rismawati, 2019).

III.5.2 Isolasi Mikroba Uji

Pengambilan sampel air sungai dilakukan pada muara sungai Krueng Aceh, Jln. Teungku di Anjong, Gampong Jawa, Kec. Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Aceh. Adapun titik koordinat pengambilan sampel yaitu Lintang 5.571031°N dan Bujur 95.321576°E. Pengambilan sampel air sungai dilakukan pada 1 titik, sampel air yang telah diambil kemudian dibawa ke Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknologi untuk dilakukan isolasi mikroba.



Gambar III. 1 Lokasi Pengambilan Sampel

a. Isolasi Bakteri Coliform

Sampel bakteri yang akan diisolasi diambil dari perairan Krueng Aceh, sampel air yang telah diambil kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan metode *Most Portable Number* (MPN), metode ini terdiri dari 3 tahapan yaitu:

1) Uji Pendugaan (*Persumptive Test*)

Uji pendugaan merupakan tahap pertama dari uji MPN. Media LB (*Lactose Broth*) yang telah disiapkan dituang dalam tabung yang terisi tabung durham, kemudian diambil 1 ml sampel air dan

dimasukkan kedalam tabung berisi media LB serta digoyangkan agar media serta sampel tercampur dengan merata, kemudian tabung diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Hasil uji positif ditandai dengan keruhnya media dan terbentuknya gas pada tabung Durham (Nurjannah & Novita, 2018).

2) Uji Penegasan (*Confirmed Test*)

Dari tabung dengan hasil positif dilanjutkan dengan uji penegasan yaitu dengan cara mengambil 1-2 ose penuh kemudian diinokulasikan kedalam tabung yang berisi media BGLB lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Terbentuknya gas pada tabung Durham menunjukkan hasil positif (Utami *et al.*, 2020).

3) Uji Pelengkap (*Complete Test*)

Hasil uji pada sampel air yang dinyatakan positif pada uji konfirmasi selanjutnya diambil dan diisolasi kembali pada cawan petri yang berisi media EMBA, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam (Ratna *et al.*, 2019).

Kemudian diujikan morfologinya dengan melakukan pewarnaan gram pada bakteri coliform. Pewarnaan diujikan untuk membedakan antara bakteri gram positif dan negatif. Pewarnaan dilakukan dengan cara:

Disiapkan kaca objek yang telah disterilkan dengan aquadest, kemudian 1 ose biakan diambil pada media dan diletakkan di atas kaca objek lalu diratakan dan dilakukan fiksasi bakterinya. Lalu ditetesi kristal violet sampai semua olesan tertutupi dan didiamkan selama 1 menit. Kemudian dicuci kembali dengan air mengalir, dan dikering-anginkan. Lalu ditambahkan larutan iodium sampai bakteri tertutupi serta didiamkan selama 1 menit. Dicuci kembali dengan air mengalir dan dikeringkan. Selanjutnya ditambahkan alkohol 96% selama 30 detik hingga warna ungu menghilang dan dicuci dengan air mengalir serta dikering-anginkan. Kemudian warnai dengan safranin selama satu menit dan dicuci kembali dengan air mengalir. Lalu diamati dibawah mikroskop, hasil sel dengan warna ungu memiliki sifat Gram positif dan merah gram negatif (Saira, 2017).

Kemudian Uji Biokimia dilakukan untuk melihat karakteristik bakteri melalui reaksi biokimia yaitu uji Indol, uji Methyl Red (MR), uji Voges Proskauer (VP) dan uji sitrat.

a. Uji Triple Sugar Iron Agar (TSIA)

Biakan bakteri diinokulasikan kedalam tabung yang berisi media TSIA, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam didalam inkubator. Berubahnya bagian *slant* dan *butt* berwarna kuning menunjukkan bahwa bakteri mampu memfermentasi glukosa, laktosa dan sukrosa. Retak dan terangkat media merupakan tanda pembentukan gas, lalu membentuknya cinci hitam pada media meruoakan tanda H₂S (Puspita *et al.*, 2020).

b. Uji Indol

Biakan bakteri diionokulasikan secara aseptis kedalam media SIM, lalu pada suhu 37 °C selama 24 jam kemudian melalui dinding tabung reaksi ditambahkan Reagen 3-4. Terbentuknya cincin merah menunjukkan hasil positif (Puspita *et al.*, 2020).

c. Uji Methyl Red (MR)

Secara aseptis media bakteri diinokulasikan ke dalam media MRVP, lalu diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37 °C, kemudian sebanyak 2-3 tetes reagen MR ditambahkan. Hasil berwarna merah menunjukkan positif (Kartikasari *et al.*, 2019).

d. Uji Voges Proskauer (VP)

Secara aseptis biakan bakteri diinokulasikan dari media ke dalam media MRVP, serta diinkubasi selama 24 jam dengan 37 °C, lalu ditambah 2-3 tetes α -naphtol 5% dan 3-4 tetes KOH 40%. Warna merah menunjukkan hasil uji positif (Kartikasari *et al.*, 2019).

e. Uji Sitrat

Secara aseptis biakan bakteri diinokulasikan pada media simon citrate, kemudia dinkubasi dengan suhu 37 °C selama 24 jam. Hasil uji positif akan menunjukkan perubahan warna pada media dari hijau menjadi biru (Kartikasari *et al.*, 2019).

b. Isolasi *Staphylococcus*

Isolasi *Staphylococcus* dikerjakan dengan menanam sampel pada media MSA, serta identifikasi dengan pewarnaan Gram, Uji Katalase, Uji Methyl Red, Uji Voges-Proskauer. Sampel bakteri yang akan diisolasi diambil dari perairan Krueng Aceh. Isolasi bakteri dilakukan dengan mengambil sampel air terlebih dahulu dan dilakukan pengenceran, kemudian diambil dari pengenceran 10^{-3} dan 10^{-5} disebarkan pada media MSA dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C. Berubahnya warna pada medium dari warna merah menjadi warna kuning menunjukkan hasil yang positif sedangkan pada medium yang tidak mengalami perubahan warna menunjukkan hasil negatif. Selanjutnya dilakukan Pewarnaan Gram bertujuan untuk mengamati morfologi sel *Staphylococcus*. Pewarnaan Gram dikembangkan oleh Cristian Gram dan merupakan salah satu pewarnaan yang paling sering digunakan (Hayati *et al.*, 2019).

a. Uji Katalase

Uji ini dilakukan dengan ditetaskan hidrogen peroksida (HO) 3% pada gelas objek yang bersih. Dioleskan biakan di gelas objek yang sudah ditetesi HO, dicampur secara perlahan suspensinya dengan ose, terbentuknya gelembung udara menunjukkan hasil yang positif (Apriyanthi *et al.*, 2022).

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

Uji TSIA dilakukan dengan mengambil satu ose bakteri, lalu ditusukkan sampai ke dasar tabung serta dilakukan secara zigzag pada bagian miring media. Kemudian diinkubasi selama 24 jam. Hasil berwarna kuning menunjukkan bahwa bakteri mampu memfermentasi glukosa, laktosa dan sukrosa (Lasmini *et al.*, 2022) .

c. Uji Methyl Red

Uji methyl red memiliki tujuan untuk konfirmasi apakah mikroorganisme mampu menghasilkan dan mempertahankan produk akhir. Produk akhir berupa asam yang didapatkan dari proses oksidasi glukosa. Berubahnya warna di bagian atas media menjadi merah

setelah ditetesi 3-5 tetes reagen methyl red menunjukkan hasil positif (Karimela *et al.*, 2017).

d. Uji Voges-Proskauer

Menurut Cappucino dan Sherman (1992) pengujian ini dipergunakan sebagai pengidentifikasi organisme yang mampu menghasilkan acetoin dari degradasi glukosa selama fermentasi 2,3 butanadiol, hingga penurunan pH media menjadi 5 atau lebih. Hasil yang positif ialah terbentuknya warna merah atau pink setelah menambahkan Barrit's Reagen dengan pembentukan asetil metil karbonil (Karimela *et al.*, 2017).

III.5.3 Uji Resistensi Bakteri Terhadap Logam Fe (Besi)

Uji resistensi dilakukan dengan 3 perlakuan (kontrol, konsentrasi 2000 ppm, 2500 ppm). Dilakukan dengan metode *Kirby Bauer* yaitu *cutton bud* steril dimasukkan kedalam tabung reaksi yang berisi suspensi bakteri kemudian digoreskan di cawan petri yang berisi media MHA, lalu di atasnya diletakkan *paper disk*. Kemudian *paper disk* yang telah direndam Fe dengan variasi konsentrasi yaitu: 2000 ppm dan 2500 ppm diletakkan diatas media MHA yang telah diinokulasikan *Bacillus*. Kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C dalam inkubator. Pembentukan zona bening di area cakram ialah tanda bakteri mempunyai kemampuan daya hambat (Novaryatiin *et all.*, 2018).

Pengukuran diameter vertikal dan horizontal zona bening dilakukan dengan penggunaan jangka sorong, lalu hasil pengukuran dihitung dengan rumus zona hambat.

$$\frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2}$$

Keterangan:

Dv : Diameter vertikal

Dh : Diameter horizontal

Dc : Diameter cakram/sumuran (Winastri *et al*, 2020).

Kriteria pengukuran zona hambat dilakukan berdasarkan Rodriguez *et al*, (2021):

- a. *Suscentible*/ rentan: >18 mm
- b. Resisten/ tahan: < 13 mm
- c. *Intermediet*/ sedang: antara 13-18 mm
- d. *Susceptible Dose- Dependent* (SDD): tidak memiliki zona hambat

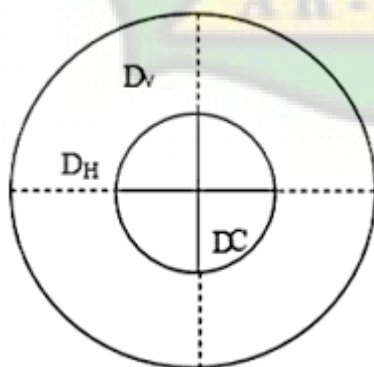
III.5.4 Pengukuran Kurva Pertumbuhan *Bacillus*

Pengukuran kurva pertumbuhan bakteri dibuat dengan *Optical Density* (OD) setiap 6 jam sekali selama 72 jam yaitu dengan cara mengambil bakteri yang mampu meresisten Fe dengan zona hambat paling sedikit. Pengukuran kurva ini menggunakan media *Nutrient Broth* (NB) yaitu bakteri diinokulasikan kedalam media tabung yang berisi media NB 10 ml dan diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya secara aseptis 10 ml bakteri diinokulasikan kedalam 90 ml media NB dengan penambahan konsentrasi Fe 3000 ppm lalu di shaker dengan kecepatan 200 rpm. Setiap 6 jam sekali diambil 1 ml kultur kemudian dimasukkan kedalam kuvet untuk pengukuran nilai OD dengan panjang gelombang (λ) 600 nm. Pengukuran OD dimulai dari jam ke-0 sampai 72 jam, data hasil pengukuran lalu dibuat kurva dengan sumbu x sebagai waktu (t) dan y sebagai nilai OD (Farisna, 2016).

III.5.5 Uji Aktivitas Antimikroba

Metode difusi agar (*disc diffusion Kirby and Bauer*) dipergunakan untuk melakukan pengujian ini. Aktifitas penghambatnya diuji terhadap *Klebsiella* sp, *Staphylococcus* sp., yang dipergunakan sebagai mikroba uji. Untuk pengujian aktifitas antimikroba menggunakan kertas cakram yang berukuran 6 mm. Satu ose *Klebsiella*, dan *Staphylococcus* sp. yang telah diinokulasi diambil ± 1 ose lalu diencerkan dengan larutan NaCl 0,9% steril hingga memiliki kekeruhan yang sesuai dengan standar Mc. Farland 0,5 (10^8 CFU/ml). Kemudian disuspensikan mikroba patogen tersebut dengan *cutton bud* steril kedalam cawan petri berisi media MHA dengan metode goresan (*streak plate*), lalu diletakkan *paper disk* yang telah direndam dengan bakteri *Bacillus* diatasnya setelah itu diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam pada pengujian ini menggunakan kontrol antibiotik (Budianto & Suprastyani, 2017).

Kemudian dilakukan pengamatan setelah 24 jam diinkubasi. Daerah pada sekitaran cakram yang menunjukkan kepekaan terhadap antimikroba dinyatakan dengan diameter zona bening. Diameter zona bening diukur dengan satuan millimeter (mm) dengan menggunakan jangka sorong. Empat kategori aktifitas antimikroba yang dapat dikelompokkan, yaitu: aktivitas lemah (<5 mm), sedang (5-10 mm), kuat (>10-20 mm), sangat kuat (>20-30 mm). Diameter zona bening yang dihasilkan di sekitar kertas cakram dinyatakan sebagai aktifitas zona hambat antimikroba. Pengukuran diameter zona hambat dilakukan dengan satuan mm (Datta dkk, 2019).



$$\frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2}$$

Keterangan:

Dv : Diameter vertikal

Dh : Diameter horizontal

Dc : Diameter cakram/sumuran

Gambar III.2. Rumus Perhitungan Zona Hambat (Winastri *et al.*, 2020).

III.6 Analisis Data

Data yang telah diperoleh dari isolasi bakteri patogen dianalisis dengan metode kualitatif yaitu secara deskriptif berdasarkan jumlah isolat dan karakteristik morfologi bakteri. Sedangkan data kuantitatif dianalisis berdasarkan pengukuran zona hambat dari uji resistensi bakteri *Bacillus* sp. terhadap Fe serta uji aktifitas antimikrobal *Bacillus* sp. terhadap mikroba patogen.

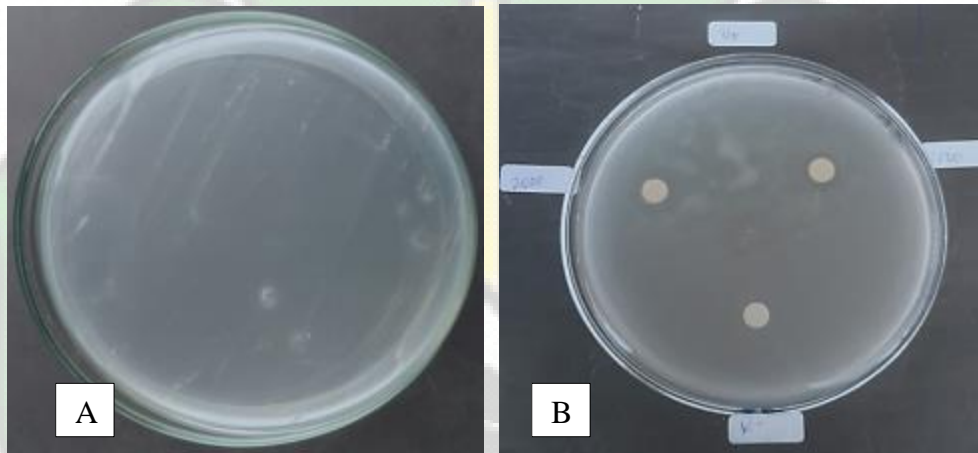


BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

IV.1.1 Resistensi *Bacillus* sp. Sungai Krueng Aceh Terhadap Fe

Diketahui dengan hasil yang menunjukkan semua isolat *Bacillus* sp. tumbuh dengan baik pada area sekitar cakram yang terdapat logam Fe pada konsentrasi 2000 ppm dan 2500 ppm. Hasil Uji resistensi memperlihatkan bahwa isolat *Bacillus* sp. resisten terhadap logam Fe yang ditandai dengan pertumbuhan *Bacillus* sp. disekitar *paper disk* yang mengandung Fe. Morfologi koloni dan hasil uji resistensi isolat *Bacillus* sp. dapat dilihat pada gambar IV.1.



Gambar IV.1 Isolat Awal Bakteri *Bacillus* sp. (A) dan Hasil Uji Resistensi *Bacillus* sp. Terhadap Fe dengan Konsentrasi 2000 ppm dan 2500 ppm (B).

Tabel IV.1 Uji Resistensi *Bacillus* sp. Terhadap Fe

Konsentrasi	Ulangan (mm)									Rata-Rata (mm)
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	
2000 ppm	3,5	2,2	1,46	1,45	2,4	1,2	1,3	1,4	1,5	1,82
2500 ppm	2,7	3,2	1,53	1,56	2,7	4,2	1,7	1,8	1,4	2,31

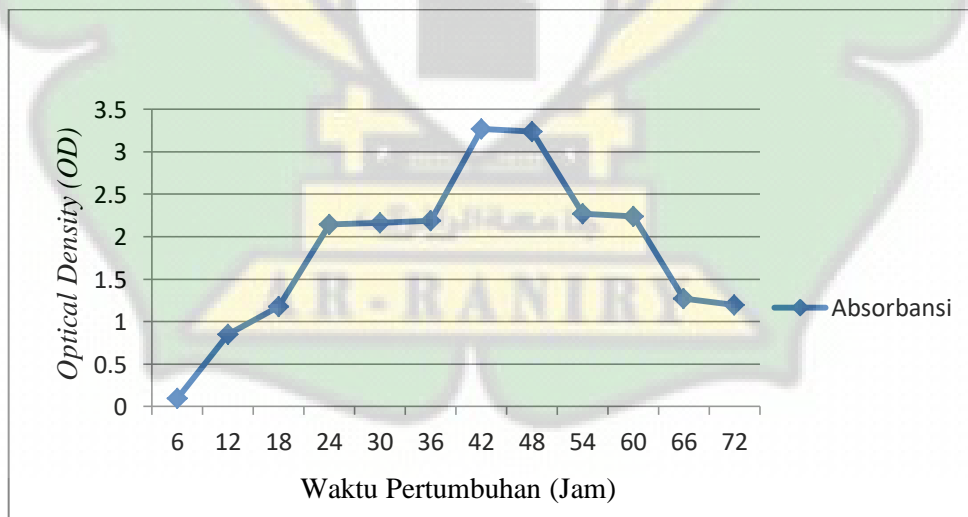
Hasil uji resistensi bakteri *Bacillus* sp. terhadap Fe dengan konsentrasi 2000 ppm menunjukkan nilai rata-rata 1,82 mm (<13 mm) yang menandakan bahwa bakteri *Bacillus* sp. tersebut resisten. Kemudian hasil uji resistensi bakteri *Bacillus* sp. dengan konsentrasi 2500 ppm menunjukkan nilai rata-rata 2,31 mm (<13 mm) juga menandakan bakteri *Bacillus* sp. resisten terhadap Fe.

IV.1.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp.

Hasil pengukuran kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. dilakukan untuk melihat fase pertumbuhan bakteri. Hasil pengukuran kurva pertumbuhan *Bacillus* sp. dengan konsentrasi 3000 ppm. Data hasil pengukuran kurva pertumbuhan dapat dilihat pada Tabel IV.5.

Tabel IV.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp.

Waktu (t)	Absorbansi (A)
6	0,094
12	0,853
18	1,175
24	2,142
30	2,162
36	2,189
42	3,267
48	3,235
54	2,268
60	2,237
66	1,27
72	1,193



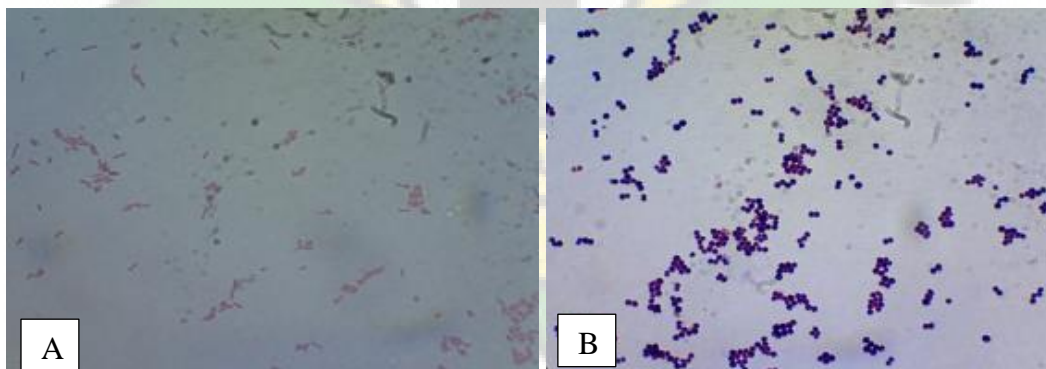
Gambar IV.2 Grafik Kurva Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp.

Berdasarkan hasil pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. selama 72 jam dengan pengukuran selama 6 jam sekali. Pada 6 jam pertama nilai absorbansi 0,094 dan pada 72 jam nilai absorbansi 1,193. Hasil penelitian pengukuran kurva pertumbuhan bakteri, fase lag (adaptasi) *Bacillus* sp. terjadi pada jam ke-0. Lalu

fase log (eksponensial) dimulai dari jam ke-12 sampai jam ke-30, dengan nilai OD dimulai dari 0,853 Å sampai dengan 2,162 Å. Fase log (eksponensial) ialah fase yang dibutuhkan oleh mikroba untuk melakukan pembelahan sel atau penggandaan sel yang disebut dengan waktu generasi, pH, suhu, sifat genetik serta nutrisi yang terkandung dalam media mempengaruhi fase ini. Selanjutnya fase stasioner dimulai dari jam ke-30 sampai dengan jam ke-42 dengan nilai OD 2,162 Å sampai dengan 3,267 Å dan fase mortalitas (kematian) pada jam ke-48 dengan nilai OD 3,235 Å.

IV.1.3 Karakteristik Bakteri Patogen dari Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, isolasi bakteri dari sungai Krueng Aceh diperoleh 14 isolat. Isolat tersebut memiliki karakteristik makroskopis yang berbeda-beda seperti: bentuk koloni, margin, elevasi, dan warna. Identifikasi bakteri dilakukan secara makroskopis dengan pewarnaan Gram dan uji biokimia. Uji pewarnaan gram diamati menggunakan mikroskop pembesaran 1000x, setelah diamati isolat bakteri dari sungai Kreung Aceh memiliki bentuk sel Bacil (batang) dan Coccus (bulat). 8 Isolat tergolong bakteri kedalam bakteri Gram negatif dan 6 isolat tergolong bakteri gram positif yang ditandai dengan warna merah dan ungu atau biru dapat dilihat pada gambar IV.2.



Gambar IV.3 Uji Pewarnaan Gram Negatif (A) dan Pewarnaan Gram Positif (B)

Selanjutnya dilakukan uji biokimia untuk mengetahui sifat-sifat suatu bakteri. Adapun uji biokimia yang dilakukan pada penelitian ini adalah: uji sitrat, uji TSIA, uji indol, uji MR-VP serta uji katalase. Hasil Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis isolate bakteri patogen dari Kreung Aceh dapat dilihat pada tabel IV.3.

Tabel IV.3 Karakteristik Bakteri Patogen di Isolasi dari Sungai Krueng Aceh

Makroskopis				Mikroskopis					Uji Biokimia							Genus		
Kode Isolat	Bentuk Koloni	Margin	Elevasi	Warna	Bentuk Sel	Uji Gram	Glukosa	Laktosa	Sukrosa	Gas	H ₂ S	Indol	Motilitas	Sitrat	MR	VP	Katalase	
CL 1	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Klebsiella sp.</i>
CL 2	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Klebsiella sp.</i>
CL 3	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Enterobacter sp.</i>
CL 4	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Klebsiella sp.</i>
CL 5	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Enterobacter sp.</i>
CL 6	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Enterobacter sp.</i>
CL 7	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Klebsiella sp.</i>
CL 8	Bulat	Rata	Cembung	Merah Muda	Batang	Negatif (-)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	<i>Enterobacter sp.</i>
SA 1	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>
SA 2	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>
SA 3	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>
SA 4	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>
SA 5	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>
SA 8	Bulat	Rata	Cembung	Kuning	Bulat	Positif (+)	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	<i>Staphylococcus sp.</i>

Tabel IV.4 Data Genus Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri dari Berbagai Sumber

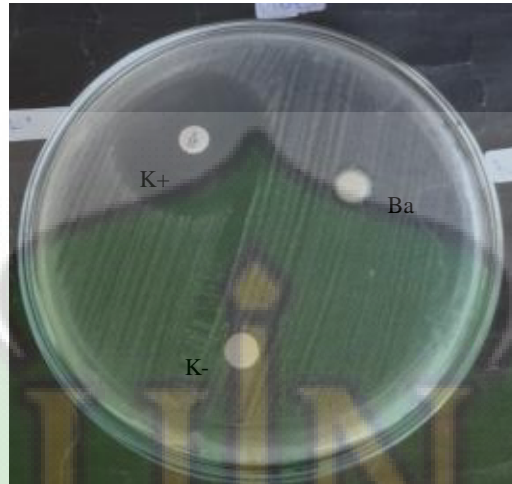
Genus Bakteri			
Makroskopis	<i>Klebsiella</i> sp. (CL1,CL2,CL4,CL7)	<i>Enterobacter</i> sp. (CL3,CL5,CL6,CL8)	<i>Staphylococcus</i> sp. (SA1 , SA2, SA3, SA4, SA5, SA8)
Bentuk Koloni	Bulat	Bulat	Bulat
Margin	Rata	Rata	Rata
Elevasi	Cembung	Cembung	Cembung
Warna	Merah Muda	Merah Muda	Kuning
Mikroskopis			
Gram	-	-	+
Bentuk Sel	Basil	Basil	Coccus
Glukosa	+	-	+
Laktosa	+	-	+
Sukrosa	+	-	+
Gas	-	-	-
H₂S	-	-	-
Indol	-	-	-
Motilitas	-	-	-
Sitrat	+	+	-
MR	+	+	+
VP	-	-	-
Katalase	+	+	+
	((Khairani <i>et al.</i> , 2019) (Kambuno <i>et al.</i> , 2017) (Sihombing & Budiarso, 2017)	(Vernanda <i>et al.</i> , 2023) (Prianti <i>et al.</i> , 2018) (Utamy <i>et al.</i> , 2021)	(Hajar <i>et al.</i> , 2018) (Darmawi <i>et al.</i> , 2019) (Lasmini <i>et al.</i> , 2022)

Keterangan: Bakteri Isolat yang berhasil di Isolasi, Negatif (-) dan Positif (+)

Berdasarkan data tabel di atas, didapatkan 14 isolat bakteri patogen, diantaranya yaitu 8 isolat dari Gram negatif dan 6 isolat dari gram positif. Isolat dari Gram negatif terdiri dari genus *Klebsiella* sp. dan *Enterobacter* sp. kemudian isolat dari Gram positif yaitu bakteri dari genus *Staphylococcus* sp.

IV.1.4 Aktivitas Antimikrobal Bakteri *Bacillus* sp. Terhadap Mikroorganismen Patogen

Hasil uji aktivitas antimikrobal bakteri *Bacillus* sp. dapat dilihat pada Gambar IV.4



Gambar IV.4 Hasil Uji Aktivitas Antimikrobal *Bacillus* sp. Terhadap Mikroorganismen Patogen

Uji aktivitas antimikrobal *Bacillus* sp. dilakukan dengan kontrol negatif yaitu aquadest, kontrol positif yaitu kloramfenikol dan mikroorganismen patogen yaitu isolat *Klebsiella* sp., dan *Staphylococcus* sp. Hasil uji aktivitas antimikrobal *Bacillus* sp. dapat dilihat pada tabel IV.4.

Tabel IV.5 Hasil Uji Aktivitas Antimikrobal *Bacillus* sp. Terhadap Mikroorganismen Patogen

Isolat Patogen	Antimikroba	Rata-rata (mm)	Kriteria Zona Hambat
<i>Klebsiella</i> sp.	Kontrol (-)	0	Lemah
	Kontrol (+)	18,38	Kuat
	<i>Bacillus</i> sp.	2,71	Lemah
<i>Staphylococcus</i> sp.	Kontrol (-)	0	Lemah
	Kontrol (+)	24,69	Sangat Kuat
	<i>Bacillus</i> sp.	0,51	Lemah

Keterangan: lemah (<5 mm), sedang (5-10), kuat (>10-20 mm) dan sangat kuat (>20-30 mm).

IV.2 Pembahasan

IV.2.1 Resistensi *Bacillus* sp. Sungai Krueng Aceh Terhadap Fe

Hasil uji resistensi *Bacillus* sp. dapat dilihat pada Tabel IV.1. Pengujian resistensi bakteri *Bacillus* sp. menggunakan kontrol aquadest, konsentrasi Fe 2000 ppm dan 2500 ppm. Kriteria pengukuran zona hambat dilakukan berdasarkan Rodríguez *et al.*, (2021) dengan zona hambat yang dihasilkan bakteri dikatakan resisten jika hasil pengukuran zona hambat <13 mm.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, pengujian resistensi bakteri *Bacillus* sp. terhadap logam Fe pada konsentrasi 2000 ppm menunjukkan hasil nilai rata-rata 1,82 mm (resisten), dan pada konsentrasi 2500 ppm menunjukkan hasil nilai rata-rata 2,31 mm (resisten). Menurut Sulastris *et al.*, (2022) beberapa spesies *Bacillus* resisten terhadap logam Fe hingga 6000 mg/L pada *Nutrient Agar* dan beberapa spesies *Bacillus* hanya mampu bertahan hingga 100 mg/L.

Berdasarkan hasil uji pendahuluan kandungan logam Fe yang terdapat dalam perairan Kreung Aceh adalah 1886 mg/kg. Menurut Fahrudin *et al.*, (2020) bakteri dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang ekstrim, bakteri mampu hidup pada air yang mengandung konsentrasi logam yang tinggi disebabkan karena bakteri memiliki kemampuan dalam mendetoksifikasi efek logam berat melalui mekanisme di dalam sel yang mengikat logam. Bakteri mempunyai kemampuan bertahan hidup di lingkungan tercemar logam berat karena memiliki gen resisten, Menurut Rismawati, (2019) gen *smtAB* merupakan salah satu gen resisten yang terlibat dalam protein (metallothionein) yang dapat mengikat logam berat.

Menurut Abidin *et al.*, (2019) bakteri memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam melalui mekanisme yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent/ active uptake*) atau tidak bergantung metabolisme (*metabolism-independent/ passive uptake*). Pereduksian logam berat oleh bakteri dapat dilakukan dengan cara bioakumulasi atau biosorpsi. Pada proses bioakumulasi, logam akan ditranspor melalui membran sel ke dalam sitoplasma. Adsorpsi logam ditentukan oleh kemampuan menyerap permukaan sel yang dipengaruhi oleh komponen penyusun dinding sel. Komponen permukaan dinding sel berupa gugus fungsional gugus karboksil, gugus fosfat, lipopolisakarida, asam

teikoat dan asam teikuronat. Bakteri yang memiliki potensi sebagai agen bioremediasi logam berat adalah bakteri yang resisten serta toleran terhadap keberadaan logam berat di lingkungan.

Menurut Zhao *et al.*, (2021) resistensi bakteri melalui mekanisme adaptasi, hal tersebut terjadi karena ada perbedaan kromosomal, transposon dan plasmid yang mengatur sistem resistensi pada bakteri, selanjutnya adanya protein RND (*resistance-nodulation-cell division*) yang mengatur transportasi logam melalui membran sel. Enzim katalase juga dihasilkan oleh *Bacillus*, enzim ini berfungsi untuk memecah zat berbahaya yang terakumulasi ke dalam sel bakteri. *Bacillus* juga menghasilkan enzim reduktase yaitu enzim yang berfungsi untuk menurunkan (reduksi) kadar toksisitas logam berat yang menjadi pencemar menjadi bentuk yang tidak toksik. Logam Fe merupakan zat gizi mikro yaitu sebagai pigmen sitokrom dan kofaktor enzim. Menurut Irhamni *et al.*, (2017) Fe juga merupakan nutrisi esensial yang dalam konsentrasi kecil berguna untuk proses fisiologis seperti respirasi, metabolisme dan perbaikan DNA. Namun, dalam konsentrasi besar, Fe bersifat toksik karena dapat memicu kerusakan DNA bakteri.

IV.2.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp.

Pengukuran kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. memakai spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Pengukuran kurva pertumbuhan bakteri dilakukan untuk melihat fase pertumbuhan bakteri, fase pertumbuhan bakteri terdiri dari empat fase yaitu fase lag (adaptasi), fase log (eksponensial), fase stasioner dan fase mortalitas (kematian). Isolat *Bacillus* sebelum dilakukan uji kurva terlebih dahulu diuji resisten, kurva pertumbuhan *Bacillus* sp. dapat dilihat pada tabel IV.2.

Fase lag (adaptasi) bakteri *Bacillus* sp. terjadi pada jam ke-0, pada fase ini biasanya bakteri melakukan adaptasi dengan lingkungan, seperti pH, suhu, nutrisi dan lain sebagainya. Fase kedua yaitu fase log (eksponensial) dimana pada fase ini pertumbuhan bakteri semakin cepat, pada fase ini kondisi fisiologis dan kimiawi dari populasi sel bakteri seragam, hingga kultur yang terdapat pada fase eksponensial biasa dipergunakan untuk penelitian fisiologis dan biokimia. Fase

lag terjadi pada jam ke-12 sampai ke-30. Fase ketiga yaitu fase stasioner yaitu fase yang mana laju pertumbuhan sama dengan laju kematian mikroba, hingga hasil jumlah mikroba akan secara keseluruhan akan tetap sama, pada penelitian Farisna (2015) kurva perumbuhan *Bacillus* tanpa penambahan logam menunjukkan fase stasioner terjadi pada jam ke-220 sedangkan pada penambahan logam Fe fase stasioner terjadi pada jam ke-30, pada fase ini nutrisi didalam medium sudah banyak digunakan sehingga jika inkubasi tetap dilanjut setelah fase ini maka sel bakteri akan mati karena lisis.

Kemudian nilai OD dengan penambahan logam Fe paling tinggi yaitu pada nilai 3,26 Å sedangkan pada *Bacillus* tanpa logam yaitu pada 0,5-0,6 Å hal ini bisa disebabkan karena *Bacillus* yang resisten terhadap logam Fe dan logam Fe dalam konsentrasi tertentu dibutuhkan oleh mikroba pada respirasi seluler (Rahmawati & Zulaika, 2021). Fase terakhir ialah fase mortalitas (kematian), di fase ini pertumbuhan bakteri mulai turun karena nutrisi dalam media dan cadangan energi didalam sel mulai tipis fase kematian dimulai pada jam ke-48 (Risna *et al.*, 2022).

IV.2.3 Karakteristik Bakteri Patogen dari Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil penelitian terdapat 14 isolat bakteri patogen yang diisolasi dari sungai Kreung Aceh yang terdiri dari 8 bakteri kelompok coliform dan 6 bakteri genus *Staphylococcus*. 8 Bakteri coliform terdiri dari genus *Klebsiella* dan *Enterobacter*. 14 isolat tersebut mempunyai karakteristik makroskopis serta mikroskopis yang berbeda serta hasil uji pewarnaan gram dan uji biokimia yang berbeda pula, tabel karakteristik bakteri patogen dari sungai Kreung Aceh dapat dilihat pada tabel IV.3.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa terdapat 3 genus bakteri yang berhasil diisolasi pada sungai Krueng Aceh, yaitu *Klebsiella*, *Enterobacte*, dan *Staphylococcus*. Pada penelitian Parhusip *et al.*, (2020) menyebutkan bakteri yang berhasil diisolasi dari sungai yaitu *Enterobacter clocae*, *Pantoea agglomerans*, *Klebsiella pnemonian*, *Klebsiella grimontii*, serta *Shigella flexneri*. Kemudian pada penelitian Elhany & Husnudin, (2023) bakteri yang berhasil diisolasi dari

sungai yaitu *Pseudomonas pseudomallei*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Bacillus subtilis*.

Klebsiella sp. pada media EMBA memiliki ciri koloni berwarna merah muda dengan tepian rata dan diameter 2-5 mm. pada uji katalase memberikan hasil positif dan pada uji TSIA juga menghasilkan hasil yang positif memfermentasikan sukrosa, glukosa dan laktosa. *Enterobacter* sp. memiliki koloni warna merah muda pada media EMBA dengan diameter 2-3 mm dan elevasi cembung (Krisnawati *et al.*, 2022).

Klebsiella sp. ialah bakteri Gram negatif yang memiliki bentuk batang pendek. *Klebsiella* sp. dapat menyebabkan infeksi pada saluran pernapasan atas yaitu pada mukosa hidung dan farings, dan dapat menjadi penyebab pneumonia dan infeksi saluran kencing akibat meluasnya infeksi Ramaditya *et al.*, (2018). *Klebsiella* selain dapat ditemukan didalam air dapat pula ditemukan di tanah, makanan, dan saluran usus hewan serta usus manusia. *Enterobacter* sp. ialah bakteri gram negatif yang memiliki bentuk batang dan dapat menyebabkan infeksi saluran kemih di dalam penelitian Janasuta *et al.*, (2020) disebutkan bahwa genus *Enterobacter* merupakan salah satu penyebab infeksi saluran kemih. Selain pada air bakteri *Entorobacter* sp. termasuk kedalam bakteri coliform dan dapat digunakan sebagai indikator sanitasi. *Entorobacter* sp. dapat ditemukan pada tanah, limbah dan juga tanaman.

Staphylococcus sp. pada media MSA memiliki bentuk koloni bulat, berwarna kuning dengan tepian rata. Bakteri tersebut bisa didapatkan berdiri sendiri maupun kelompok dan bentuk kumpulannya seperti buah anggur. Bakteri ini menunjukkan hasil positif pada uji katalase, dan sifatnya fakultatif anaerob. Genus *Staphylococcus* ditemukan hidup di kulit dan kelenjarnya, juga pada membran mukosa manusia, burung serta mamalia sebagai bakteri oportunistik. Di alam bakteri ini terdapat pada air, tanah, permukaan tanaman dan produk makanan (seperti kuning telur yang tidak matang) yang mampu menyebabkan penyakit terhadap manusia (Nainggolan *et al.*, 2018).

Staphylococcus sp. adalah bakteri gram positif yang apabila dilihat melalui mikroskop berbentuk coccus. Bakteri tersebut bisa ditemukan di tanah, air, susu, makanan dan udara. Infeksi yang disebabkan oleh *Staphylococcus* sp. pada kulit

dapat menimbulkan impetigo, selulitis, bisul, dan *staphylococcal scalded skin syndrome* (SSSS). *Staphylococcus* sp. dapat menghasilkan enterotoksin yang menjadi penyebab terjadinya gejala diare hingga *horn's disease*, *ulcerative colitic* dan keracunan juga dapat terjadi apabila mengkonsumsi makanan atau minuman yang tercemar dengan bakteri tersebut (Afrila *et al.*, 2020).

IV.2.4 Aktivitas Antimikrobia Bakteri *Bacillus* sp. Terhadap Mikroorganisme Patogen

Uji aktivitas antimikrobia bakteri *Bacillus* sp. dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri *Bacillus* dalam menghambat pertumbuhan mikroba patogen. Hasil Pengujian aktivitas antimikrobia bakteri *Bacillus* sp. dapat dilihat pada Tabel IV.5. Mikroba patogen yang digunakan pada pengujian ini adalah *Klebsiella*, dan *Staphylococcus*. Semua mikroba patogen tersebut diujikan dengan *Bacillus*, kemudian hasil pengujian dihitung zona hambatnya yaitu zona bening disekitar cakram. Kriteria pengukuran zona hambat dilakukan berdasarkan Datta *dkk*, (2019) dengan diameter zona hambat dikatakan lemah apabila menunjukkan hasil <5 mm dan dikatakan sangat kuat apabila menunjukkan hasil >20-30 mm.

Pada pengujian aktivitas antimikrobia *Bacillus* sp. terhadap mikroba patogen menggunakan kontrol (-) yaitu aquadest dan kontrol (+) kloramfenikol. Kontrol (-) digunakan untuk memastikan tidak ada zona hambat yang terjadi kepada mikroba patogen. Menurut Utomo *et al* (2018) penggunaan kontrol (+) kloramfenikol karena kloramfenikol ialah antibakteri yang berspektrum luas sehingga mampu membunuh bakteri gram positif dan gram negatif. Bakteri dikatakan resisten terhadap kloramfenikol apabila diameter zona hambat yang dihasilkan <20 mm dan sensitif apabila zona hambat yang dihasilkan >20 mm. Berdasarkan hasil penelitian *Klebsiella* sp. resisten terhadap kloramfenikol dengan diameter zona hambat 18,38 mm dan *Staphylococcus* sp. sensitif terhadap kloramfenikol dengan diameter zona hambat 24,69 mm.

Pada pengujian aktivitas antimikrobia *Bacillus* sp. terhadap *Klebsiella* sp. menghasilkan zona hambat dengan kategori lemah yaitu 2,71 mm. Diameter zona hambat yang kecil bisa disebabkan karena pengaruh dari membran sel bakteri

yang berfungsi sebagai penghalang karena adanya lipid dan permeabilitas yang tinggi. Kandungan *fosfatidiletanolamin* di dalam bakteri Gram negatif diduga sebagai penyebab penurunan sensitivitas bakteri terhadap senyawa antibakteri hingga konsentrasi tersebut tidak dikategorikan kuat pada aktivitas penghambatan (Ambarwati & Ibrahim, 2021). Pada pengujian aktivitas antimikrobia *Bacillus* sp. terhadap *Staphylococcus* sp. menghasilkan zona hambat dengan kategori lemah yaitu 0,51 mm. Diameter zona hambat yang lemah bisa diakibatkan karena bakteri Gram positif mempunyai dinding sel yang lebih tebal hingga antimikroba akan sulit menembus dinding sel (Datta dkk, 2019).

Berdasarkan hasil uji aktivitas antimikrobia *Bacillus* sp. terhadap mikroba patogen, maka dapat diketahui bahwa semua hasil pengujian kepada mikroba patogen menghasilkan zona hambat dengan kategori lemah yaitu <5 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Klebsiella* sp. lebih sensitif dari *Staphylococcus* sp. hasil ini dapat dilihat dari kemampuan daya penghambat yang lebih besar dari *Staphylococcus* sp. hal ini disebabkan karena berbedanya sensitivitas antara bakteri gram negatif (*Klebsiella*) dan gram positif (*Staphylococcus*). Menurut Mulyani *et al.*, (2017) bakteriosin *Bacillus* sp. lebih aktif terhadap bakteri gram negatif dari bakteri gram positif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Bakteri *Bacillus* sp. resisten terhadap logam Fe dengan konsentrasi 2000 ppm dan 2500 ppm, dengan nilai yang paling rendah pada 2500 ppm yaitu rata-rata 2,31 mm.
2. *Bacillus* sp. yang terpapar logam berat Fe pada konsentrasi 3000 ppm memasuki fase lag (adaptasi) yaitu pada jam ke-0. Kemudian fase log (eksponensial) dimulai dari jam ke-12 sampai jam ke-30, selanjutnya fase stasioner dimulai dari jam ke-30 sampai dengan jam ke-42.
3. Bakteri patogen dari sungai Krueng Aceh didapatkan 14 isolat bakteri yaitu 4 genus *Klebsiella*, 4 genus *Enterobacter* dan 6 genus *Staphylococcus*.
4. Aktivitas Antimikrobia *Bacillus* sp. yang diujikan kepada mikroba patogen yaitu *Klebsiella* sp., dan *Staphylococcus* sp. memiliki daya hambat dengan kategori lemah yaitu 2,71, dan 0,51.

V.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka penulis menyarankan:

1. Perlu dilakukan uji lanjutan identifikasi molekuler atau PCR pada bakteri *Bacillus* sp. agar mengetahui spesies bakteri.
2. Perlu dilakukan identifikasi senyawa bioaktif pada bakteri *Bacillus* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R. & H. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. In *Lambung Mangkurat University Press*. <http://eprints.ulm.ac.id/id/eprint/2238>. ISBN: 9786026483478
- Adrianto, R. (2018). Pemantauan Jumlah Bakteri Coliform Di Perairan Sungai Provinsi Lampung. *Majalah TEGI*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.46559/tegi.v10i1.3920>
- Afianti, N. F., & Sutiknowati, L. I. (2020). Kondisi Pencemaran Lingkungan Berdasarkan Parameter Mikrobiologis. *Jurnal Majalah Ilmiah Biologi Biosfera*, 37(3), 135–140. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2020.37.3.1022>
- Afrila, D., Rahmiati, Khatimah, H., Muthmainah, N., & Yuliana, I. (2020). Identifikasi *Staphylococcus aureus* Pada Air Galon Bermerek dan Isi Ulang Di Banjarmasin. *Homeostatis*, 3(2), 161–168. <https://doi.org/10.20527/ht.v3i2.2255>
- Afrina, Nasution, A. I., & Sabila, C. I. (2017). Gambaran Morfologi *Candida albicans* Setelah Terpapar Ekstrak Serai (*Cymbopogon citratus*) pada Berbagai Konsentrasi. *Cakradonya Dental Journal*, 9(2), 107–115. <https://doi.org/10.24815/cdj.v9i2.9748>
- Ainiyah, S. D., Lestri, I., & Andini, A. (2018). Hubungan Antara Kadar Besi (Fe) Air Tambak Terhadap Kadar Besi (Fe) Pada Daging Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Kecamatan Jabon Sidoarjo. *Jurnal SainHSealth*, 2(2), 21. <https://doi.org/10.51804/jsh.v2i2.258.21-28>
- Ambarwati, D., & Ibrahim, M. (2021a). Aktivitas Antibakteri Metabolit Ekstraseluler *Bacillus subtilis* terhadap *Shigella dysenteriae* secara In Vitro. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 25–32. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p25-32>
- Ambarwati, D., & Ibrahim, M. (2021b). Aktivitas Antibakteri Metabolit Ekstraseluler *Bacillus subtilis* terhadap *Shigella dysenteriae* secara In Vitro In Vitro Antibacterial Activity of The Extracellular Metabolites of *Bacillus subtilis* towards *Shigella dysenteriae*. *Lentera Bio*, 10(1), 25–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p25-32>
- Anggreini, C. D. (2019). Bioremediasi Lingkungan Tercemar Klorpirifos. *Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap Dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia*, 1–5. <https://doi.org/10.31227/osf.io/ugv2w>
- Apriyanthi, D. P. R. V., Laksmi, A. S., & Widayanti, N. P. (2022). Identifikasi Bakteri Kontaminasi pada Gelang Tri Datu. *Jurnal Biologi Makassar*, 7(2), 24–33. ISSN: 2548 - 6659
- Budianto, & Suprastyani, H. (2017). Aktivitas Antagonis *Bacillus subtilis* terhadap *Streptococcus iniae* dan *Pseudomonas fluorescens*. *Jurnal Veteriner*, 18(3), 409–415. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2017.18.3.403>
- Darmawi, D., Zahra, A. F., Salim, M. N., Dewi, M., Abrar, M., Syafruddin, S., & Adam, M. (2019). 6. Isolation, Identification and Sensitivity Test of *Staphylococcus aureus* on Post Surgery Wound of Local Dogs (*Canis familiaris*). *Jurnal Medika Veterinaria*, 13(1), 37–46. <https://doi.org/10.21157/j.med.vet.v13i1.4122>
- Datta, U. F., Daki, N. A., Benu, I., Detha, R. I. A., Foh, K. F. D. N., & Ndaong

- A. N. (2019). Prosiding Seminar Nasional VII Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Nusa Cendana Swiss Bel-inn Kristal Kupang, 17 Oktober 2019. *Prosiding Seminar Nasional VII Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Nusa Cendana Swiss*, 427, 66–85. <https://ejurnal.undana.ac.id/JKV/index%0A70>. ISBN: 978-602-6906-55-7
- Dawaiyah, A. (2020). Identifikasi dan Uji Resistensi Logam Berat Timbal (Pb) pada Bakteri Yang Diisolasi dari Perairan Paciran Lamongan. *Skripsi. Surabaya : Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel*.
- Dewi, P. (2019). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol daun Beluntas Terhadap Pertumbuhan Bakteri Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Karya Tulis Ilmiah*, 89. <http://repository.poltekkes-denpasar.ac.id/2995/>.
- Dian Yuni Pratiwi. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65. <http://jurnal.unpad.ac.id/akuatek/article/>
- Elhany, A. N., & Husnudin, B. U. (2023). *Isolasi dan karakterisasi bakteri tahan logam berat pada perairan sungai driyorejo gresik*. 01(01), 28–33.
- Escamilla-Rodríguez, A., Carlos-Hernández, S., & Díaz-Jiménez, L. (2021). Evidence of resistance of heavy metals from bacteria isolated from natural waters of a mining area in Mexico. *Water (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/w13192766>
- Fahrudin, F., Santosa, S., & Sareda. (2020). Toleransi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bakteri Indigenous Dari Air Laut Pelabuhan Paotere , Makassar. *Aquatic Science & Management*, 8(1), 8–14.
- Fahrudin, Haedar, N., Santosa, S., & Wahyuni, S. (2019). Uji Kemampuan Tumbuh Isolat Bakteri dari Air dan Sedimen Sungai Tallo Terhadap Logam Timbal (Pb). *Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 10(19), 52–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/jal.v10i2.7662>
- Farisna, S. T., & Zulaika, E. (2015). Resistensi *Bacillus* Endogenik Kalimas Surabaya Terhadap Logam Besi (Fe). *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(1), 4–7. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.14050>
- Farisna, T. S. (2015). Potensi *Bacillus* Sebagai Bakteri Siderofor dan Bioremoval Logam Besi (Fe). *Skripsi*.
- Hadi, I., Suhendrayatna, S., & Muchlisin, Z. A. (2018). Status mutu air dan kandungan logam berat pada air dan sedimen di muara Krueng Aceh, Kota Banda Aceh. *Depik*, 7(2), 91–99. <https://doi.org/10.13170/depik.7.2.8606>
- Hajar, S., Helmi, T. Z., Darmawi, Azhar, A., Fakhurrrazi, & Azhar. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Vagina Sapi Aceh. *Jimvet*, 2(3), 341–350.
- Hayati, L. N., Tyasningsih, W., Praja, R. N., Chusniati, S., Yunita, M. N., & Wibawati, P. A. (2019). Isolasi dan Identifikasi *Staphylococcus aureus* pada Susu Kambing Peranakan Etawah Penderita Mastitis Subklinis di Kelurahan Kalipuro, Banyuwangi. *Jurnal Medik Veteriner*, 2(2), 76. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol2.iss2.2019.76-82>
- Holderman, M. V., De Queljoe, E., & Rondonuwu, S. B. (2017). Identifikasi Bakteri Pada Pegangan Eskalator Di Salah Satu Pusat Perbelanjaan Di Kota Manado. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 13.

<https://doi.org/10.35799/jis.17.1.2017.14901>

- Indriani, Ekowati, C. N., Handayani, K., & Irawan, B. (2023). Potensi Antagonis *Bacillus* sp Asal Kebun Raya Liwa (Krl) Sebagai Agen Pengendali Jamur *Fusarium* sp. *Seminar Nasional Biologi (SEMABIO) 7 Tahun 2022*, 18, 201–207.
- Irawati, W. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Resisten Tembaga Dari Pantai Timur Surabaya. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(2), 95–105. <https://doi.org/10.31289/biolink.v6i2.2558>
- Irhanni, Setiaty, P., Edison, P., & Wirsal, H. (2017). Serapan logam berat esensial dan non esensial pada air lindi TPA Kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Serambi Engineering*, 2(3), 134–140. <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/337>
- Janasuta, P., Sukrama Made, D., & Dwija Putra Nyoman Bagus, I. (2020). Pola Kepekaan Bakteri Enterobacter sp yang diisolasi dari Spesimen Urin di RSUP Sanglah. *Medika Udayana*, 9(1), 1–6.
- Jekti, D. S. D. (2018). Peranan Mikroba Dalam Pengelolaan Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi*, 1–9. <https://jurnalfkip.unram.ac.id/index.php/SemnasBIO/article/view/585>
- Kamarati, K. F. A., Marlon, I. A., & M, S. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 4(1), 50–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.20886/jped.2018.4.1.49-56>
- Kambuno, N. T., Fanggidae, D., & Kupang, K. (2017). Identification of Gram Negative Bacteria for Extended Spectrum Beta Lactamase Strains in NICU Room of RSUD Prof. *Jurnal Info Kesehatan*, 15(2), 333–345.
- Karim, M. A., Juniar, H., & Ambarsari, M. F. P. (2017). Adsorpsi Ion Logam Fe dalam limbah tekstil Sintesis dengan Menggunakan Merode Batch. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 68–81. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1205>
- Karimela, E. J., Ijong, F. G., & Dien, H. A. (2017). Characteristics of *Staphylococcus aureus* Isolated Smoked Fish Pinekuhe from Traditionally Processed from Sangihe District. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1), 188. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i1.16506>
- Kartikasari, A. M., Hamid, I. S., Purnama, M. T. E., Damayanti, R., Fikri, F., & Praja, R. N. (2019). Isolation And Identification Of *Escherichia coli* As Bacterial Contamination In Broiler Chicken Meat In Poultry Slaughterhouse Lamongan District. *Jurnal Medik Veteriner*, 2(1), 66–71. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol2.iss1.2019.66-71>
- Khairani, K., Aini, F., & Riany, H. (2019). Karakterisasi Dan Identifikasi Bakteri Rizosfer Tanaman Sawit Jambi. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 12(2), 198–206. <https://doi.org/10.15408/kaunyah.v12i2.11723>
- Krisnawati, M., Suarjana, I. G. K., & Gelgel, K. T. P. (2022). Isolasi dan Identifikasi Enterobacter spp. pada Anjing Diare. *Buletin Veteriner Udayana*, 158, 54. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2023.v01.i01.p07>
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M., Hidup, L., & Salatiga, K. (2020). Reduksi Kandungan Logam Berat Fe pada Air Sungai jetis Salatiga Secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.56444/cjce.v1i1.1323>
- Lasmini, T., Saphira, A., Dos Marliana, L. B., & Sherly Margareta, T. (2022).

- Identifikasi Bakteri Staphylococcus Aureus Pada Swab Rongga Hidung Penjamah Makanan Di Jalan Durian Kota Pekanbaru.* 5, 281–292. <https://prosiding.aiptlmi-iasmlt.id/index.php/prosiding/article/view/60/25>
- Mastiani, N., Amalia, V., & Rosahdi, T. D. (2018). Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Ion Logam Fe(III). *Al-Kimiya*, 5(1), 42–47. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3731>
- Mujihradana, V. N., Wewengkang, D. S., & Suryanto, E. (2018). Aktivitas Antimikroba Dari Ekstrak Herdmania Momus Pada Mikroba Patogen Manusia. *Pharmacoon*, 7(3), 338–347. <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/pha.7.2.018.20601>
- Mulyani, G. T., Hartati, S., Santoso, Y., Kurnia, K., Pramono, A. B., & Wirapratwi, D. K. (2017). Kejadian Leptospirosis pada Anjing di Daerah Istimewa Yogyakarta (Case Of Canine Leptospirosis In The City Of Yogyakarta). *Jurnal Veteriner*, 18(3), 403. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2017.18.3.403>
- Murraya, Nur Taufiq-Spj, E. S. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Dalam Air, Sedimen Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo, Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(2), 133–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jmr.v7i2.25902>
- Muslimin, I. (2019). “Studi Literatur: Efek Farmakologi Daun Sirih Merah (*Piper crocatum*) Sebagai Antimikroba.” *Karya Tulis Ilmiah*, 1-17 <http://repository.ummat.ac.id/id/eprint/1433>.
- Nainggolan, I. C., Fatimawali, ., & Bodhi, W. (2018). Isolasi Bakteri Resisten Arsen pada Sedimen Tanah di Muara Sungai Buyat. *Jurnal E-Biomedik*, 6(2), 111–118. <https://doi.org/10.35790/ebm.6.2.2018.21994>
- Novitasari, T. M., Rohmi, R., & Inayati, N. (2019). Potensi Ikan Teri Jengki (*Stolephorus indicus*) Sebagai Bahan Media Alternatif untuk Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Analis Medika Biosains (JAMBS)*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.32807/jambs.v6i1.119>
- Nurjannah, L., & Novita, D. A. (2018). Uji Bakteri Coliform dan *Escherichia coli* Pada Air Minum Isi Ulang dan Air Sumur di Kabupaten Cirebon. *Jurnal Ilmu Alam Indonesia*, 1(1), 60–68. www.syekhnurjati.ac.id/jurnal/index.php/jia
- Parhusip, A. J. N., Xaveria, J., & Irawati, W. (2020). Peranan Konsorsium Isolat Bakteri Resisten Logam Berat untuk Menurunkan Kandungan Zn, Fe, dan Mg pada Cumi, Udang, dan Ikan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 79–85. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i1.3556>
- Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa - North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, 8(1). <https://doi.org/10.35799/jbl.8.1.2018.20592>
- Pitasari, A., & Ali, M. (2018). Isolasi dan uji antagonis bakteri endofit dari tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap jamur *Alternaria porri* Ellis Cif. *Universitas Riau JOM Faperta*, 5(1), 1–12.
- Pratama, D. A. (2017). Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe Dan Cu Pada Air Sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3),

- 131–138. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i3.1560>
- Prianti, Rahmawati, & Rousdy, W. (2018). Karakteristik Genus Bakteri Pada Karkas Ayam Broiler Dari Swalayan di Kota Pontianak. *Jurnal Protobiont*, 7(3), 24–35. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v7i3.29066>
- Prihatiningsih, N., Wahyu, D., & Adi, H. (2021). “ Tema 1 : Biodiversitas Tropis dan Bioprospeksi ” Nanobiopeptisisda *Bacillus subtilis* B315 Sebagai Pengendali *Xanthomonas oryzae* pv . *oryzae* in vitro. 175–182. <http://jurnal.lppm.unsoed.ac.id/ojs/index.php/Prosiding/article/view/171>
- Puspita, I., A’yun, N. Q., Sumarsono, T., & Andini, A. (2020). Uji sensitivitas *Escherichia coli* yang diisolasi dari air sumur galian dekat dengan septic tank terhadap ciprofloxacin. *National Conference for Ummah*, 1–9.
- 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>
- Rahmat, R., Izziah, I., & Saleh, S. M. (2018). Pemanfaatan dan Penataan Ruang Tepi Sungai Krueng Aceh Kota Banda Aceh. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(1), 90–100. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10359>
- Rahmawati, A. D., & Zulaika, E. (2021). Bioaccumulation of Iron (Fe) In *Bacillus* JA1, *Sporosarcina* JA4, and *Lysinibacillus* JB2. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 8(2), 66–70. <https://doi.org/10.23960/jbekh.v8i2.188>
- Ramaditya, N. A., Tono PG, K., Suarjana, I. G. K., & Besung, I. N. K. (2018). Isolasi Klebsiella Sp. Pada Sapi Bali Berdasarkan Tingkat Kedewasaan Dan Lokasi pemeliharaan Serta Pola Kepekaan Terhadap Antibakteri. *Buletin Veteriner Udayana*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2018.v10.i01.p04>
- Rianti, E. D. D., Tania, P. O. A., & Listyawati, A. F. (2022). Kuat medan listrik AC dalam menghambat pertumbuhan koloni *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(1), 79–88. <https://doi.org/10.26877/bioma.v11i1.9561>
- Rismawati, S. I. (2019). Isolasi Gen smtAB Bakteri Resisten Logam Berat PB dari Limbah Cair Agar. *Agromix*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.35891/agx.v10i1.1463>
- Risna, Y. K., Sri-Harimurti, S.-H., Wihandoyo, W., & Widodo, W. (2022). Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri Asam Laktat dari Saluran Pencernaan Itik Lokal Asal Aceh. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.25077/jpi.24.1.1-7.2022>
- Rochmawati, Z. N., & Trimulyono, G. (2021). Uji Antagonis *Bacillus subtilis* dan *Bacillus megaterium* terhadap Pertumbuhan *Cercospora* sp yang Diisolasi dari *Nepenthes* sp. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 9(3), 204–210. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n3.p204-210>
- Rohmah, S. N. (2017). Isolasi dan Identifikasi Bakteri yang Berpotensi Sebagai Agen Bioremediasi Timbal (Pb) dari Lumpur Lapindo. *Skripsi*. <http://etheses.uin-malang.ac.id/5922/>
- Saira. (2017). Pengujian *Escherichia coli* pada beberapa jenis Ikan Pelagis dengan Metode Angka Paling memungkinkan (APM). *Tugas Akhir*.
- Saputri, E. T., & Efendy, M. (2020). Kepadatan Bakteri Coliform Sebagai

- Indikator Pencemaran Biologis Di Perairan Pesisir Sepuluh Kabupaten Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(2), 243–249. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i2.7579>
- Sihombing, S., & Budiarmo, T. Y. (2017). Deteksi Bakteri Enteropatogenik pada Sumber Air dan Air Minum di Yogyakarta. *Seminar Hasil Penelitian Bagi Civitas Akademika UKDW, November*, 165–179.
- Suada, I. K. (2017). *Mikroba Potensial dalam Pengendalian Biologi Patogen Mikroba Potensial dalam Pengendalian Biologi Patogen*. <https://repositori.unud.ac.id/protected/storage/upload/similarity/300ac03b0fb5fa63a618973b658a77a6.pdf>
- Sulastrri, A., Jumiaty, Nugraheni, W. P., Putra, A. S. L., & Kusumawardhani, (2022). *Jurnal Presipitasi Study of Rhizosphere Bacteria on the Coast of Mempawah Mangrove as Bioremediation Agents*. 19(3), 464–476.
- Syaifulloh, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. (2018). Kandungan Logam Non Esensial (Pb, Cd Dan Hg) Dan Logam Esensial (Cu, Cr Dan Zn) Pada Sedimen Di Perairan Tuban Gresik Dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 69. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i1.4497>
- Triani, Rahmawati, & Turnip, M. (2017). Aktivitas Antifungi Ekstrak Metanol Jamur Kuping Hitam (*Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc.) terhadap *Aspergillus flavus* (UH 26). *Jurnal Labora Medika*, 1(2), 14–20. <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JLabMed>
- Utamy, G., Hasbi, M., & Purwanto, E. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan pada Kolam Anaerob IPAL Industri Minyak Sawit. *Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*, 2(1), 231–240.
- Vernanda, R. Y., Ariyanti, A. D., & Oktaviana, C. (2023). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penyebab Bau Kaki. *Jurnal Farmasi Sains Dan Terapan*, 10(1), 14–24. <https://doi.org/10.33508/jfst.v10i1.4486>
- Winarmadani, S. (2019). Analisis kandungan logam berat (Pb, Cd, Cu, Fe) pada air permukaan di rawa pening kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Encephale*, 53(1), 59–65. <http://hdl.handle.net/123456789/17749>
- Winastri, N. L. A. P., Muliastri, H., & Hidayati, E. (2020). Aktivitas Antibakteri Air Perasan Dan Rebusan Daun Calincing (*Oxalis Corniculata* L.) Terhadap *Streptococcus Mutans*. *Berita Biologi*, 19(2). <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v19i2.3786>
- Yanis, I. F., Alamsyah, F., Agustien, A., & Maideliza, T. (2020). Potensi antibakteri dari ekstrak segar daun kersen (*Muntingia calabura* L.) dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Shigella dysenteriae*. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 8(1), 14–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jbioua.8.1.14-19.2020>
- Zainal Abidin, A., & Renjana, E. (2019). Uji Toleransi Logam Berat Bakteri Hidrokarbonoklastik dan Uji Kemampuan *Micrococcus* sp. LII61 dalam Menurunkan Kromium (Cr VI), Tembaga (Cu II), Seng (Zn II) Heavy Metal Tolerance Determination of Hydrocarbon-Degrading Bacterial Strains and Reducing Ability of *Micrococcus* sp. LII61 Strain toward Chromium (Cr VI), Copper (Cu II), Zinc (Zn II). *Jurnal Pendidikan Biologi*, 12, 66–73. <http://dx.doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v12i1.27414>
- Zhao, Y., Liu, J., Jiang, T., Hou, R., Xu, G., Xu, H., & Liu, F. (2021). Resistance-

Nodulation-Division Efflux Pump, LexABC, Contributes to Self-Resistance of the Phenazine Di-N-Oxide Natural Product Myxin in *Lysobacter antibioticus*. *Frontiers in Microbiology*, 12(February), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.618513>



LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keputusan (SK) Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh Mengenai Penetapan Pembimbing Skripsi


SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
Nomor: B.223/Un.08/FST/KP.07.603/2023

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

Memandang : 4. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi mahasiswa Prodi Biologi pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, maka dipandang perlu menunjuk pembimbing dimaksud.

Mengingat : 5. bahwa yang namanya tersebut dalam Surat Keputusan ini dianggap cakap dan mampu untuk ditetapkan sebagai pembimbing skripsi mahasiswa.

Mempertahakan : 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 48 Tahun 2022 Tentang Satuan Biaya Lainnya Tahun Anggaran 2023 di Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Menetapkan Kesatu : **MEMUTUSKAN**

Menunjuk Sastrara
1. Syafrina Sari Lubis, M.Si Sebagai Pembimbing I
2. Diananta Harahap, M.Si Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing Skripsi:
Nama : Annisa Rahmah
NIM : 180703061
Prodi : Biologi
Judul Skripsi : Ekopotensial *Berillus* sp. dari Kraeng Aceh: Bioremediasi dan Aktivitas Antimikrobal

Kedua : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan akhir Semester Ganjil Tahun Akademik 2023/2024 dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat keketiruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di Banda Aceh
Pada Tanggal 07 Maret 2023
Dekan


Lampiran
1. Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh
2. Ketua Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry
3. Pembimbing yang bersangkutan atau Asisten dan Staf Akademik
4. Yang bersangkutan

Lampiran 2. Surat Izin Penelitian



**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-834/Un.08/FST-I/PP.00.9/03/2023
Lamp : -
Hal : **Penelitian Ilmiah Mahasiswa**

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

Nama/NIM : **Annisa Rahmah / 180703061**
Semester/Jurusan : / Biologi
Alamat sekarang : Barabung

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 **Ekopotensial Bacillus sp. dari Krueng Aceh: Bioremediasi dan Aktivitas Antimikrobia**

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

Banda Aceh, 29 Maret 2023
an. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik dan
Kelembagaan,



Berlaku sampai : 30 Juni 2023

Yusran, S.Pd., M.Pd.

جامعة إندونيسيا
AR-RANIRY

Lampiran 3. Laporan Hasil Uji



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
LABORATORIUM FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jalan Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
Telepon : 0651-7551 423/Fax: 0651-7553020 Email : laboratorium.fst@ar-raniry.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

Nomor : B-17/Un.08/FST-Lab/KP.07.6/3/2023

Nama pengguna layanan : Annisa Rahmah
No. Telpn : 085362574698
Tanggal diterima : 21 Februari 2023
Tanggal pengujian : 21 Februari – 2 Maret 2023
Nama sampel : Sedimen
Spesifikasi sampel : Padat
Jumlah sampel : 1 (satu)
Pengambilan sampel : Oleh yang bersangkutan

Informasi Hasil Pengujian Sampel

No	Nama Sampel	Parameter	Hasil Analisis	Satuan	Metode
1	Sedimen	Fe	1886	mg/kg	AAS-Flame

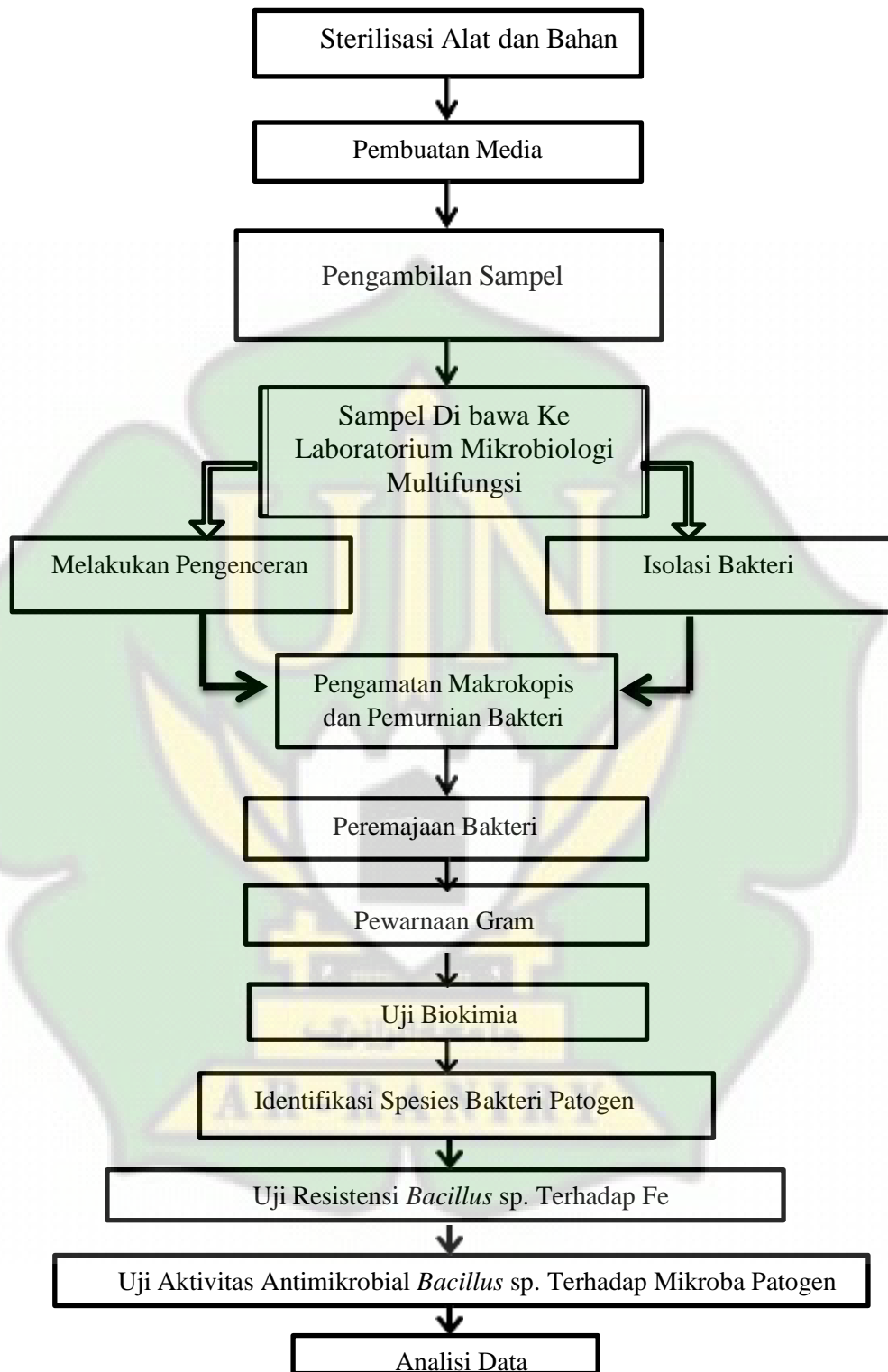
Catatan :

1. LHU yang ditempelkan hanya berhubungan dengan contoh yang di uji.
2. LHU ini dibuat untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. Laboratorium FST tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian dan tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga atas penggunaan laporan ini.
4. Laporan hasil uji tidak boleh digunakan kecuali seluruhnya dan atas persetujuan dari laboratorium.
Limit deteksi Fe = 0,2177 mg/L.

Banda Aceh, 2 Maret 2023
Kepala Laboratorium FST

Hadi Kurniawan

Lampiran 4. Alur Penelitian



Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Di Laboratorium



Pengambilan Sampel



Pembuatan Media



Pengenceran Sampel



Isolasi Bakteri



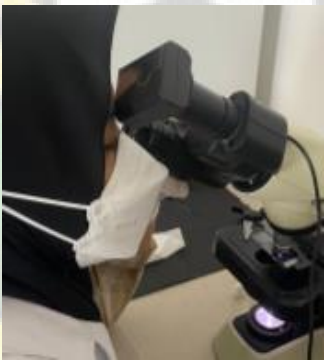
Pengukuran Bakteri



Pemurnian Bakteri



Pewarnaan Gram



Pengamatan di Mikroskop



Uji Biokimia



Uji Katalase

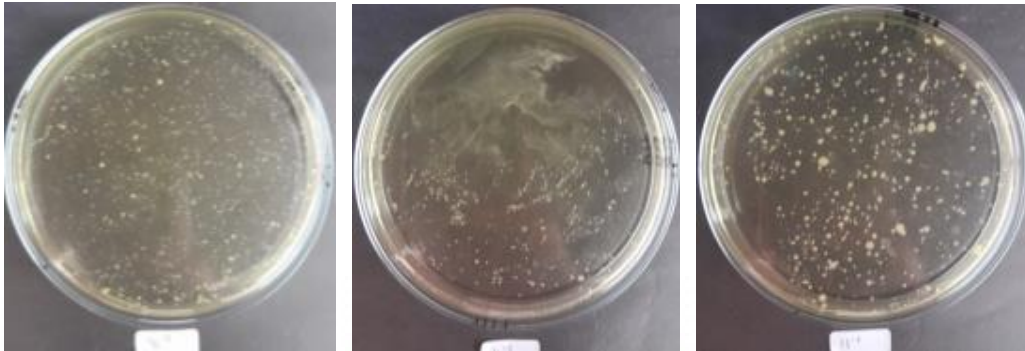


Uji Resistensi



Uji Antimikrobal

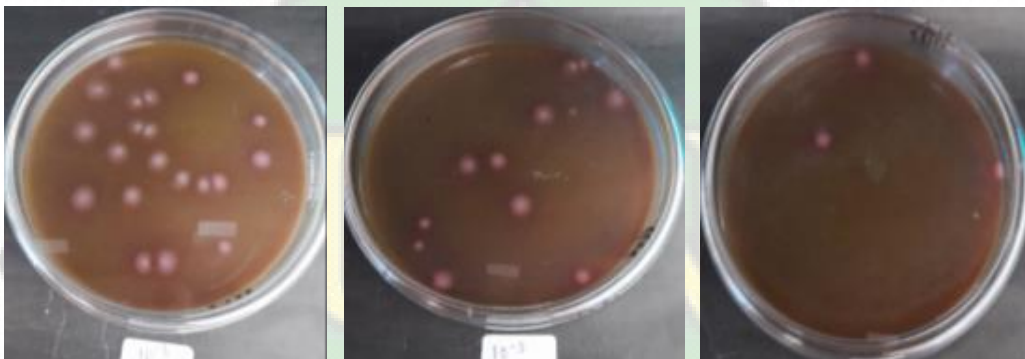
Lampiran 6. Dokumentasi Hasil Penelitian



SA 10⁻³

SA 10⁻³

SA 10⁻³



CL 10⁻³

CL 10⁻³

CL 10⁻⁵



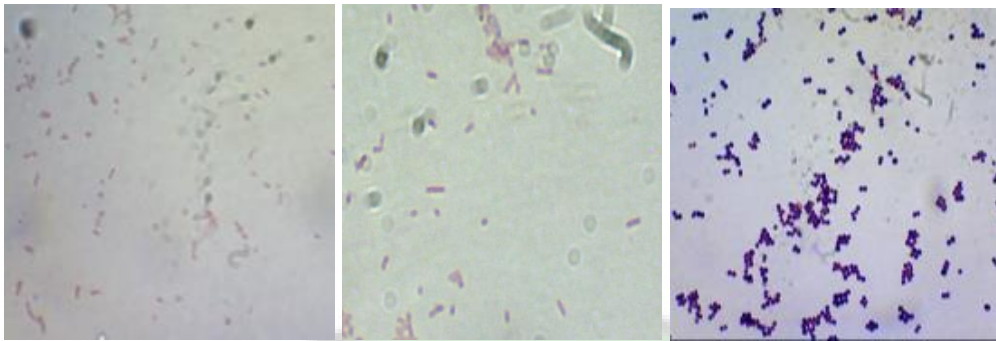
Uji Pendugaan



Uji Penegasan

Lampiran 7. Dokumentasi Hasil Pewarnaan Gram dan Uji Biokimia

Pewarnaan Gram



CL 2

CL 5

SA 1

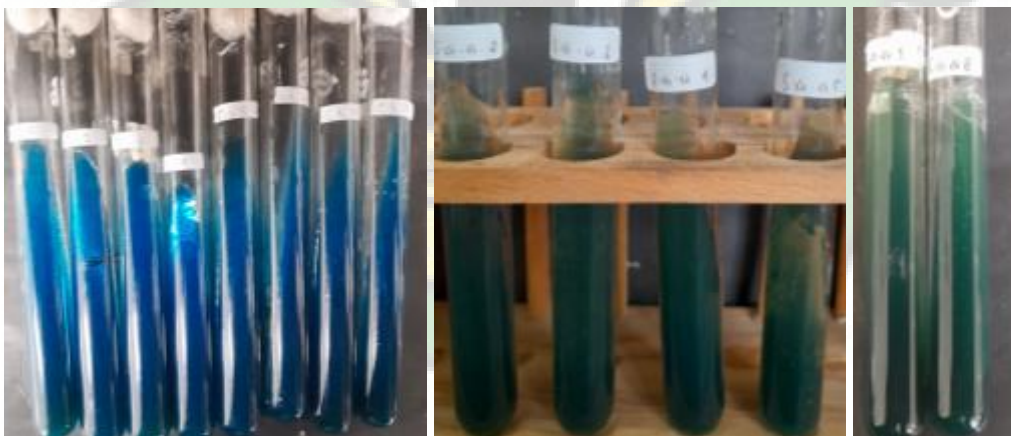
Klebsiella sp.

Enterobacter sp.

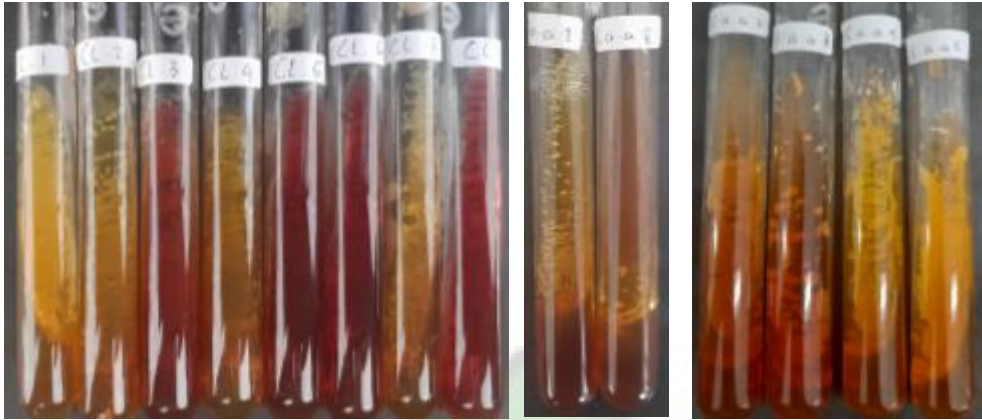
Staphylococcus sp.



Uji Katalase



Uji Sitrat



Uji TSIA



Uji MR



Uji VP



Uji Motilitas



Uji Indol

AR-RANIRY

Lampiran 8. Data Mentah Hasil Uji Resistensi

Rumus perhitungan zona hambat

$$\frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2}$$

Konsentrasi 2000 ppm

Ulangan 1:

$$\frac{(8,44 - 6) + (8,28 - 6)}{2} = \frac{2,24 + 2,28}{2} = \frac{4,72}{2} = 3,5$$

Ulangan 2:

$$\frac{(8,51 - 6) + (7,94 - 6)}{2} = \frac{2,51 + 1,94}{2} = \frac{4,45}{2} = 2,22$$

Ulangan 3:

$$\frac{(7,36 - 6) + (7,57 - 6)}{2} = \frac{1,36 + 1,57}{2} = \frac{2,91}{2} = 1,46$$

Ulangan 4:

$$\frac{(7,45 - 6) + (7,42 - 6)}{2} = \frac{1,45 + 1,46}{2} = \frac{2,91}{2} = 1,45$$

Ulangan 5:

$$\frac{(8,24 - 6) + (8,57 - 6)}{2} = \frac{2,24 + 2,57}{2} = \frac{4,81}{2} = 2,40$$

Ulangan 6:

$$\frac{(7,21 - 6) + (7,26 - 6)}{2} = \frac{1,21 + 1,26}{2} = \frac{2,47}{2} = 1,23$$

Ulangan 7:

$$\frac{(7,47 - 6) + (7,16 - 6)}{2} = \frac{1,47 + 1,16}{2} = \frac{2,63}{2} = 1,31$$

Ulangan 8:

$$\frac{(7,48 - 6) + (7,28 - 6)}{2} = \frac{1,48 + 1,28}{2} = \frac{2,76}{2} = 1,38$$

Ulangan 9:

$$\frac{(7,64 - 6) + (7,37 - 6)}{2} = \frac{1,64 + 1,37}{2} = \frac{3,01}{2} = 1,50$$

Rata-rata :

$$3,5 + 2,22 + 1,46 + 1,45 + 2,40 + 1,23 + 1,31 + 1,38 + 1,50 = \frac{16,45}{9} = 1,82$$

Konsentrasi 2500 ppm

Ulangan 1:

$$\frac{(8,6 - 6) + (8,98 - 6)}{2} = \frac{2,36 + 2,98}{2} = \frac{5,34}{2} = 2,67$$

Ulangan 2:

$$\frac{(8,91 - 6) + (9,54 - 6)}{2} = \frac{2,91 + 3,54}{2} = \frac{6,45}{2} = 3,22$$

Ulangan 3:

$$\frac{(7,66 - 6) + (7,40 - 6)}{2} = \frac{1,66 + 1,4}{2} = \frac{3,06}{2} = 1,53$$

Ulangan 4:

$$\frac{(7,47 - 6) + (7,66 - 6)}{2} = \frac{1,47 + 1,66}{2} = \frac{3,13}{2} = 1,56$$

Ulangan 5:

$$\frac{(8,74 - 6) + (8,59 - 6)}{2} = \frac{2,74 + 2,59}{2} = \frac{5,33}{2} = 2,66$$

Ulangan 6:

$$\frac{(11,81 - 6) + (8,65 - 6)}{2} = \frac{5,81 + 2,65}{2} = \frac{8,46}{2} = 4,23$$

Ulangan 7:

$$\frac{(7,56 - 6) + (7,92 - 6)}{2} = \frac{1,56 + 1,92}{2} = \frac{3,48}{2} = 1,74$$

Ulangan 8:

$$\frac{(7,56 - 6) + (8,05 - 6)}{2} = \frac{1,56 + 2,05}{2} = \frac{3,61}{2} = 1,80$$

Ulangan 9:

$$\frac{(7,28 - 6) + (7,54 - 6)}{2} = \frac{1,28 + 1,54}{2} = \frac{2,82}{2} = 1,41$$

Rata-rata:

$$\begin{aligned} & 2,67 + 3,22 + 1,53 + 1,56 + 2,66 + 4,23 + 1,74 + 1,80 + 1,41 \\ & = \frac{20,82}{9} = 2,31 \end{aligned}$$

Lampiran 9. Data Mentah Hasil Uji Antimikrobal

Rumus perhitungan zona hambat

$$\frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2}$$

a. *Klebsiella* sp.

Bacillus sp.

Ulangan 1:

$$\frac{(6,50 - 6) + (6,23 - 6)}{2} = \frac{0,5 + 0,23}{2} = \frac{0,73}{2} = 0,36$$

Ulangan 2:

$$\frac{(8,62 - 6) + (8,86 - 6)}{2} = \frac{2,62 + 2,86}{2} = \frac{5,48}{2} = 2,74$$

Ulangan 3:

$$\frac{(10,10 - 6) + (10,99 - 6)}{2} = \frac{4,1 + 4,99}{2} = \frac{9,09}{2} = 4,54$$

Ulangan 4:

$$\frac{(9,92 - 6) + (8,59 - 6)}{2} = \frac{3,92 + 2,59}{2} = \frac{6,51}{2} = 3,25$$

Ulangan 5:

$$\frac{(9,85 - 6) + (10,48 - 6)}{2} = \frac{3,85 + 4,48}{2} = \frac{8,33}{2} = 4,16$$

Ulangan 6:

$$\frac{(6,76 - 6) + (7,69 - 6)}{2} = \frac{0,76 + 1,69}{2} = \frac{2,45}{2} = 1,22$$

Rata-rata:

$$0,36 + 2,74 + 4,54 + 3,25 + 4,16 + 1,22 = \frac{16,27}{2} = 2,71$$

Kontrol +

Ulangan 1:

$$\frac{(26,96 - 6) + (26,63 - 6)}{2} = \frac{20,96 + 20,63}{2} = \frac{41,59}{2} = 20,79$$

Ulangan 2:

$$\frac{(24,86 - 6) + (24,01 - 6)}{2} = \frac{18,86 + 18,01}{2} = \frac{36,87}{2} = 18,43$$

Ulangan 3:

$$\frac{(27,80 - 6) + (25,47 - 6)}{2} = \frac{21,8 + 19,47}{2} = \frac{41,27}{2} = 20,63$$

Ulangan 4:

$$\frac{(23,38 - 6) + (23,06 - 6)}{2} = \frac{17,38 + 17,06}{2} = \frac{34,44}{2} = 17,22$$

Ulangan 5:

$$\frac{(24,61 - 6) + (23,78 - 6)}{2} = \frac{18,61 + 17,78}{2} = \frac{36,39}{2} = 18,19$$

Ulangan 6:

$$\frac{(21,43 - 6) + (20,69 - 6)}{2} = \frac{15,43 + 14,69}{2} = \frac{30,12}{2} = 15,06$$

Rata-rata:

$$20,79 + 18,13 + 20,63 + 17,22 + 18,19 + 15,06 = \frac{110,32}{6} = 18,38$$

b. *Staphylococcus* sp.

***Bacillus* sp.**

Ulangan 1: 0

Ulangan 2:

$$\frac{(6,17 - 6) + (6,14 - 6)}{2} = \frac{0,17 + 0,14}{2} = \frac{0,31}{2} = 0,15$$

Ulangan 3:

$$\frac{(8,12 - 6) + (9,31 - 6)}{2} = \frac{2,12 + 3,11}{2} = \frac{5,43}{2} = 2,71$$

Ulangan 4: 0

Ulangan 5:

$$\frac{(6,05 - 6) + (6,18 - 6)}{2} = \frac{0,05 + 0,18}{2} = \frac{0,23}{2} = 0,11$$

Ulangan 6:

$$\frac{(6,06 - 6) + (6,20 - 6)}{2} = \frac{0,06 + 0,2}{2} = \frac{0,26}{2} = 0,13$$

Rata-rata:

$$0 + 0,15 + 2,71 + 0 + 0,11 + 0,13 = \frac{3,1}{2} = 0,51$$

Kontrol +

Ulangan 1:

$$\frac{(32,05 - 6) + (34,08 - 6)}{2} = \frac{26,05 + 28,08}{2} = \frac{54,13}{2} = 27,06$$

Ulangan 2:

$$\frac{(27,73 - 6) + (27,67 - 6)}{2} = \frac{21,73 + 21,67}{2} = \frac{43,4}{2} = 21,7$$

Ulangan 3:

$$\frac{(30,40 - 6) + (33,11 - 6)}{2} = \frac{24,4 + 27,11}{2} = \frac{51,51}{2} = 25,75$$

Ulangan 4:

$$\frac{(26,94 - 6) + (30,87 - 6)}{2} = \frac{20,94 + 24,87}{2} = \frac{45,81}{2} = 22,90$$

Ulangan 5:

$$\frac{(33,42 - 6) + (30,60 - 6)}{2} = \frac{27,42 + 24,6}{2} = \frac{52,02}{2} = 26,01$$

Ulangan 6:

$$\frac{(30,70 - 6) + (30,74 - 6)}{2} = \frac{24,7 + 24,74}{2} = \frac{49,44}{2} = 24,72$$

Rata-rata:

$$27,06 + 21,7 + 25,75 + 22,90 + 26,01 + 24,72 = \frac{148,14}{2} = 24,69$$

Lampiran 10. Biaya Penelitian

No	Alat / Bahan	Volume	Harga
1	Media Msa	111,6 gram	Rp 669.600
2	Iodine	6,8 ml	20.400
3	Safranin	6,8 ml	20.400
4	Media Emba	37,46 gram	Rp 206.030
5	Alfa Naftol	5,5 ml	Rp 16.500
6	Media Bglb	8 gram	Rp 48.000
7	Media Lb	1,3 gram	Rp 6.500
8	Media Mha	11,4 gram	Rp 62.700
9	Blank Disc	90 disk	Rp 270.000
10	Media Na	11,8 gram	Rp 59.000
11	Media Nb	5,4 gram	Rp 27.000
12	Media Mrvp	3,4 gram	Rp 18.700
13	Media Sca	4,85 gram	Rp 26.675
14	Media Sim	7,24 gram	Rp 36.200
15	Chloramfenikol	18 disk	Rp 54.000
16	Gliserol	7 ml	Rp 21.000
17	Tube	7 buah	Rp 3.500
18	Kristal Violet	6,8 ml	Rp 13.600
19	Minyak Emersi	6,8 ml	Rp 88.400
20	H ₂ O 3 %	1,6 ml	Rp 1.600
21	Methyl Red	5,5 ml	Rp 16.500
22	Reagen Kovack	2,7 ml	Rp 35.100
22.	Sarung Tangan	1 kotak	Rp 40.000
23.	Wrab	2 pack	Rp 35.000
24.	Aluminium Foil	1 pack	Rp 25.000
25.	Cawan Petri	2 kotak	Rp 600.000
26.	Plastik	1 kg	Rp 15.000
27.	Tisu	2 pack	Rp 25.000
28.	Kapas	1 pack	Rp 15.000
29.	Nacl	500 ml	Rp 12.000
30.	Aquadest	5 liter	Rp 20.000
31.	Alkohol 70%	2 liter	Rp 50.000
32.	Spiritus	2 Liter	Rp 60.000
Total			Rp 2.618.405