

**RESISTENSI *Bacillus* sp. TERHADAP LOGAM SENG (Zn)
YANG DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG
ACEH: STUDI BIOMONITORING DAN ANALISIS POTENSI
BIOREMEDIASI**

TUGAS AKHIR

**DELLA JASWITA
NIM. 180702062**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022/1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
RESISTENSI *Bacillus* sp. TERHADAP LOGAM SENG (Zn) YANG
DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH:
STUDI BIOMONITORING DAN ANALISIS POTENSI BIOREMEDIASI

TUGAS AKHIR

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

Diajukan Oleh:
DELLA JASWITA
NIM. 180702062

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

Banda Aceh, 10 Juli 2022

Telah diperiksa dan disetujui Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II


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


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 2025048003

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


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

LEMBAR PENGESAHAN

**RESISTENSI *Bacillus* sp. TERHADAP LOGAM SENG (Zn) YANG
DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH: STUDI
BIOMONITORING DAN ANALISIS POTENSI BIOREMEDIASI**

TUGAS AKHIR

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

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 20 Juli 2022

20 Dzulhijjah 1443

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

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

Sekretaris,

Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 2025048003

Penguji I,

Dianita Harahap, M.Si.
NIDN. 2022038701

Penguji II,

Vera Viena, M.T.
NIDN. 0123067802

Mengetahui,

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



Dr. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Della Jaswita
NIM : 180702062
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Resistensi *Bacillus* sp. terhadap Logam Seng (Zn) yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh: Studi Biomonitoring dan Analisis Potensi Bioremediasi

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian skripsi saya 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 kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 20 Juli 2022
Yang Menyatakan,



Della Jaswita

ABSTRAK

Nama : Della Jaswita
NIM : 180702062
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Resistensi *Bacillus* sp. terhadap Logam Seng (Zn) yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh: Studi Biomonitoring dan Analisis Potensi Bioremediasi
Tanggal Sidang : 20 Juli 2022
Tebal Skripsi : 93 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing II : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Kata Kunci : Sungai Krueng Aceh, sedimen, biomonitoring, *Bacillus* sp., seng (Zn)

Sungai Krueng Aceh teridentifikasi tercemar oleh buangan limbah dengan kandungan senyawa kimia di dalamnya sehingga keberadaan bakteri dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas lingkungan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni bakteri sedimen serta mengetahui kemampuan dan tingkat resistensi *Bacillus* sp. yang dominan tumbuh pada sedimen Sungai Krueng Aceh terhadap logam seng. Penelitian ini menggunakan metode isolasi cawan sebar dan uji resistensi dengan metode difusi agar. Hasil analisis menunjukkan hanya parameter *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang berpengaruh terhadap total koloni sebagai biomonitoring kualitas perairan Sungai Krueng Aceh. Karakteristik morfologi sel *Bacillus* sp. teramati berbentuk batang, koloni berwarna krem putih, tepi koloni berbentuk bulat dan berombak, elevasi diamati dari permukaan pertumbuhan koloni terhadap media yaitu rata dan cembung. Pewarnaan Gram pada bakteri menunjukkan hasil gram positif, uji endospora menunjukkan hasil positif. Uji resistensi *Bacillus* sp. pada logam seng hingga konsentrasi 300 mg/l mampu tumbuh dengan karakteristik resistensi kuat berdiameter di bawah 13 mm.

ABSTRACT

Name : Della Jaswita
Student ID Number : 180702062
Department : Environmental Engineering
Title : Resistance of *Bacillus* sp. to Zn Isolated from Krueng Aceh River Sediment: Study on Biomonitoring and analysis of Potential Bioremediation
Date of Session : 20 July 2022
Thesis Thickness :93
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Advisor II : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Keywords : Krueng Aceh, sediment, biomonitoring, *Bacillus* sp., Zinc (Zn)

The Krueng Aceh River was identified as polluted by waste disposal containing chemical compounds in it so the presence of bacteria can be used as a bioindicator of environmental quality. The purpose of this study was to determine the effect of physical and chemical parameters of water on total sedimentary bacterial colonies and to determine the ability and level of resistance of *Bacillus* sp. which dominantly grows in the sediments of the Krueng Aceh River against zinc metal. This study used the scatter plate isolation method and the resistance test using the agar diffusion method. The results of the analysis showed that only the Dissolved Oxygen (DO) and Chemical Oxygen Demand (COD) parameters affected total colonies as biomonitoring of the water quality of the Krueng Aceh River. Morphological characteristics of *Bacillus* sp. cells. observed in the form of rods, and the colonies were creamy white, the edges of the colonies were rounded and wavy, the elevation was affected from the growth surface of the colonies to the media, which were flat and convex. Gram staining of bacteria shows positive gram results, endospore test shows positive results. *Bacillus* sp. resistance test on zinc metal up to a concentration of 300 mg/l can grow with strong resistance properties under 13 mm in diameter.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih karena berkat Anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir dengan judul “Resistensi *Bacillus* sp. terhadap Logam Seng (Zn) yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh: Studi Biomonitoring dan Analisis Potensi Bioremediasi”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Strata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran, dan do'a, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Yang terkasih kepada kedua orang tua penulis yang senantiasa selalu memberi do'a, dukungan dan nasehat untuk penulis dari awal masa studi sampai dengan penulisan Tugas Akhir ini selesai. Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini juga dibantu dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Azhar Amsal, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si selaku Kepala Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku pembimbing I, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
4. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si. selaku pembimbing II, dan juga selaku Kepala Laboratorium Biologi yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
5. Ibu Husnawati Yahya S.Si., M.Sc. selaku Sekretaris Prodi Teknik Lingkungan dan juga sebagai koordinator Tugas Akhir
6. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik dan juga selaku Kepala Laboratorium Teknik Lingkungan

7. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah berkenan memberi tambahan ilmu, pengalaman dan arahan kepada penulis.
8. Staf Program Studi Teknik Lingkungan dan staf Tata Usaha/Akademik Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu membantu dalam pengurusan administrasi selama masa perkuliahan.
9. Anggota penelitian yang didanai oleh Pusat Penelitian (Puslit) UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Cut Taffazani Fitriani Nazla, Aris Munandar, dan Zahratul Maulida, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mempelajari banyak hal baru serta arahan dan bimbingan pada saat proses penelitian hingga penulisan Tugas Akhir.
10. Kakak-kakak dan abang-abang di Teknik Lingkungan angkatan 2016 dan 2017 yang telah membantu dan mengajarkan penulis cara membuat peta lokasi sampling dan menganalisis data penelitian Tugas Akhir.
11. Intan Fadhilah, Ira Maghfirah, Dian Fatziaty, Salsabila Khalisa, M. Fadhil Zainuddin, Dhiya Safhira, Delvi Febrila Tiska, Rahmad Maulana dan seluruh teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan angkatan 2018 yang sudah mendukung dan membantu selama penulisan Tugas Akhir.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan metode dalam mengelola lingkungan hidup. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 20 Juli 2022
Penulis,

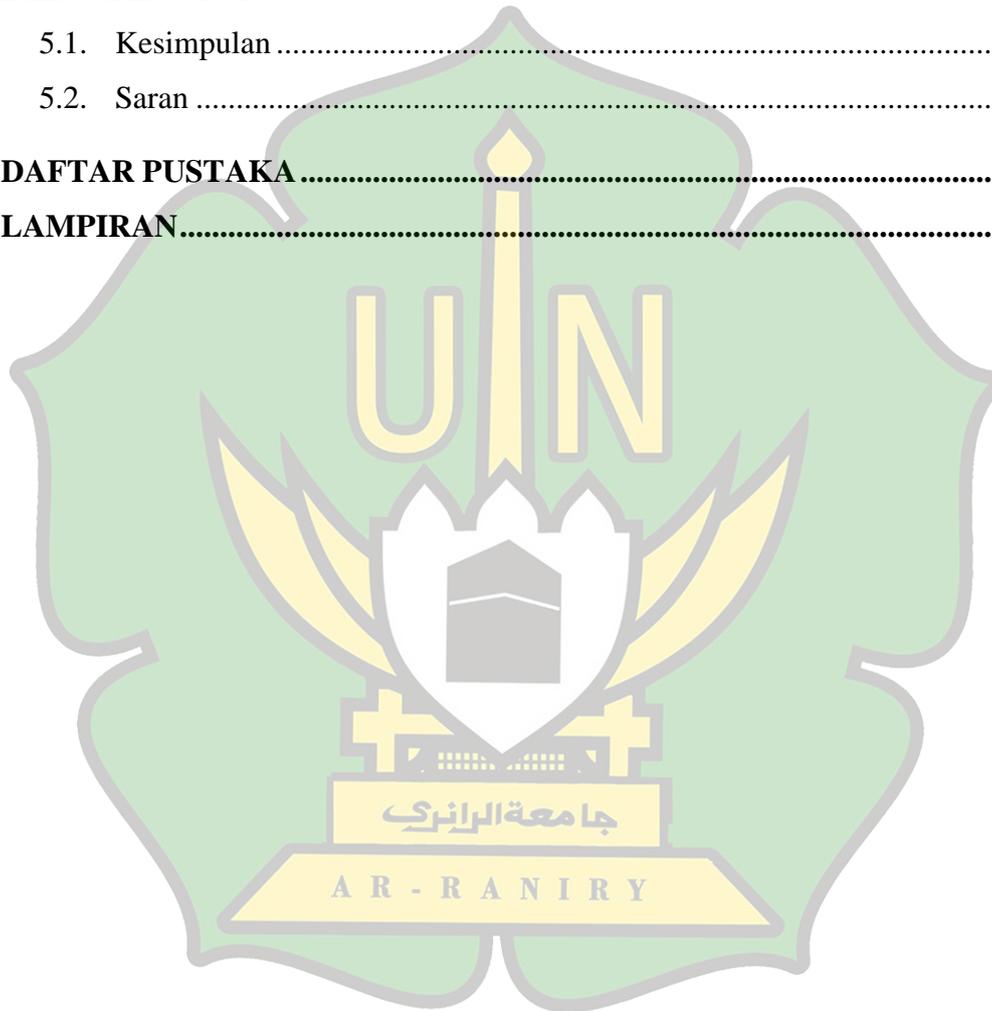
Della Jaswita

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Sungai	6
2.2. Indikator Pencemaran	7
2.3. Faktor Penyebab Pencemaran	9
2.4. Logam Berat.....	11
2.4.1. Logam Berat Seng (Zn).....	13
2.4.2. Sifat dan Toksisitas Logam Seng.....	14
2.5. Peran Mikroba sebagai Biomonitoring Perairan Sungai.....	14
2.6. Bakteri yang Mampu Mendegradasi Logam Berat.....	15
2.7. Mekanisme Resistensi Bakteri Terhadap Zn	18

2.8. Bioremediasi	22
2.9. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Tahapan Penelitian.....	25
3.2. Titik Pengambilan Sampel.....	26
3.3. Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.4. Bahan	27
3.5. Metode Penelitian	28
3.6. Prosedur Penelitian	28
3.6.1. Teknik Pengambilan Sampel	28
3.6.2. Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia Air Sungai.....	28
3.6.3. Sterilisasi Alat Uji dan Media	29
3.6.4. Isolasi dan Pemurnian Bakteri Sampel Sedimen	29
3.6.5. Identifikasi dan Karakteristik <i>Bacillus</i> sp.....	30
3.6.6. Pembuatan Larutan Stok Logam ZnSO ₄ .7H ₂ O	32
3.6.7. Peremajaan Isolat	33
3.6.8. Determinasi Resistensi <i>Bacillus</i> sp Terhadap Logam Zn	33
3.6.9. Resistensi <i>Bacillus</i> sp. terhadap Logam Seng (Zn).....	35
3.7. Analisa Data.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Hasil.....	37
4.1.1. Pengaruh Parameter Fisik dan Kimia Air terhadap Total Koloni yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh	37
4.1.2. Karakteristik <i>Bacillus</i> sp. dari Sedimen Sungai Krueng Aceh .	46
4.1.3. Resistensi <i>Bacillus</i> sp. terhadap Seng.....	48
4.2. Pembahasan.....	49
4.2.1. Pengaruh Parameter Fisik dan Kimia Air terhadap Total Koloni yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh	49

4.2.2. Karakteristik <i>Bacillus</i> sp. yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.....	53
4.2.3. Resistensi <i>Bacillus</i> sp. yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh terhadap Seng	57
BAB V PENUTUP	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	67

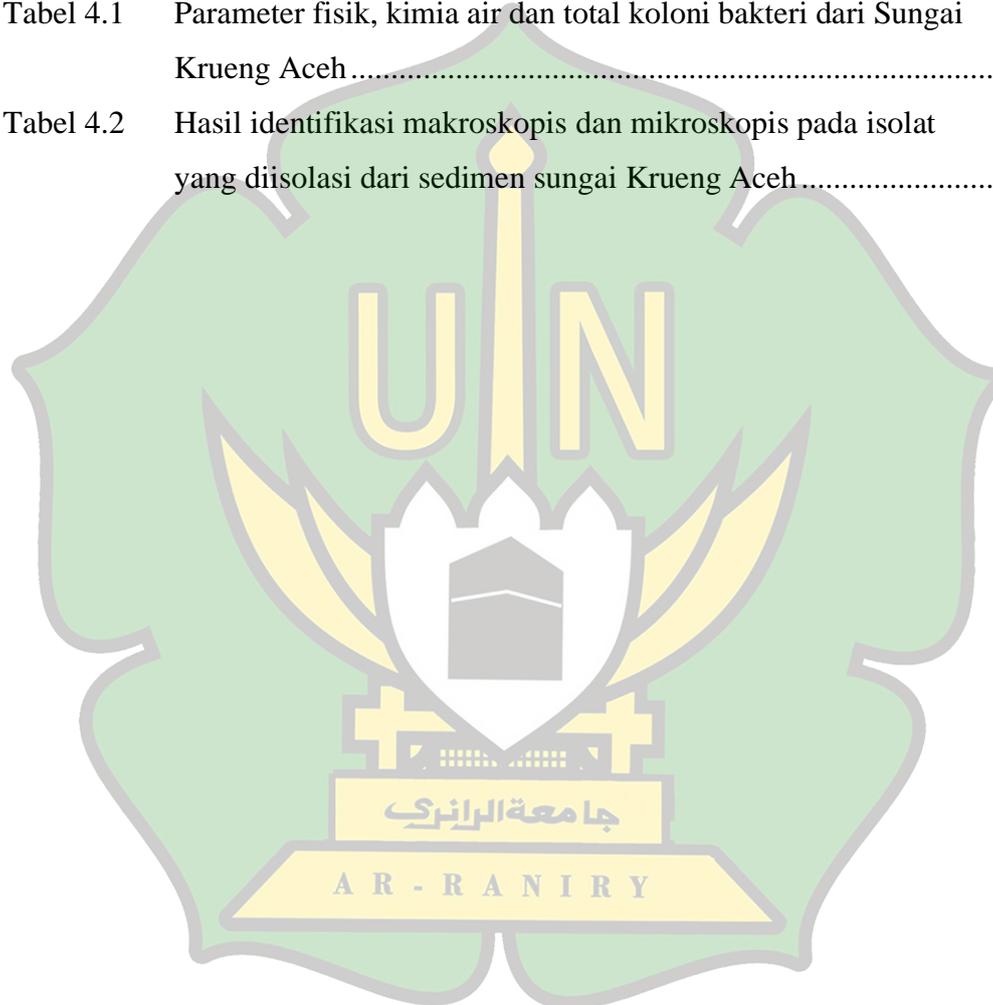


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi skema asal mula pencemaran lingkungan oleh logam berat	12
Gambar 2.2	Logam Zn	13
Gambar 2.3	Bakteri <i>Bacillus sp.</i>	17
Gambar 2.4	Mekanisme pengolahan logam berat oleh bakteri	21
Gambar 2.5	Dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negatif	22
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2	Koordinat titik pengambilan sampel Sungai Krueng Aceh.....	27
Gambar 3.3	<i>Sediment Grab Sampler</i>	28
Gambar 3.4	Tahapan isolasi bakteri	30
Gambar 3.5	Zona Bening	35
Gambar 3.6	Desain uji resistensi logam dengan menggunakan metode difusi agar	36
Gambar 4.1	Pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh.....	38
Gambar 4.2	Pengaruh total koloni dengan parameter fisik dan kimia air.....	39
Gambar 4.3	Peta distribusi nilai pH Sungai Krueng Aceh.....	40
Gambar 4.4	Peta distribusi nilai kekeruhan Sungai Krueng Aceh.....	41
Gambar 4.5	Peta distribusi nilai TDS Sungai Krueng Aceh	42
Gambar 4.6	Peta distribusi nilai TSS Sungai Krueng Aceh.....	43
Gambar 4.7	Peta distribusi nilai DO Sungai Krueng Aceh.....	44
Gambar 4.8	Peta distribusi nilai COD Sungai Krueng Aceh	45
Gambar 4.9	Peta distribusi total koloni pada Sungai Krueng Aceh.....	46
Gambar 4.10	Diameter zona hambat yang terbentuk pada isolat <i>Bacillus sp.</i> ...	48
Gambar 4.11	Diagram diameter zona hambat.....	49
Gambar 4.12	Pengamatan morfologi <i>Bacillus sp.</i>	53
Gambar 4.13	Hasil uji biokimia	56
Gambar 4.14	Diameter zona hambat pada variasi konsentrasi.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian terdahulu	18
Tabel 2.2	Jenis-jenis bakteri pendegradasi logam berat	24
Tabel 4.1	Parameter fisik, kimia air dan total koloni bakteri dari Sungai Krueng Aceh	37
Tabel 4.2	Hasil identifikasi makroskopis dan mikroskopis pada isolat yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh	47



DAFTAR LAMPIRAN

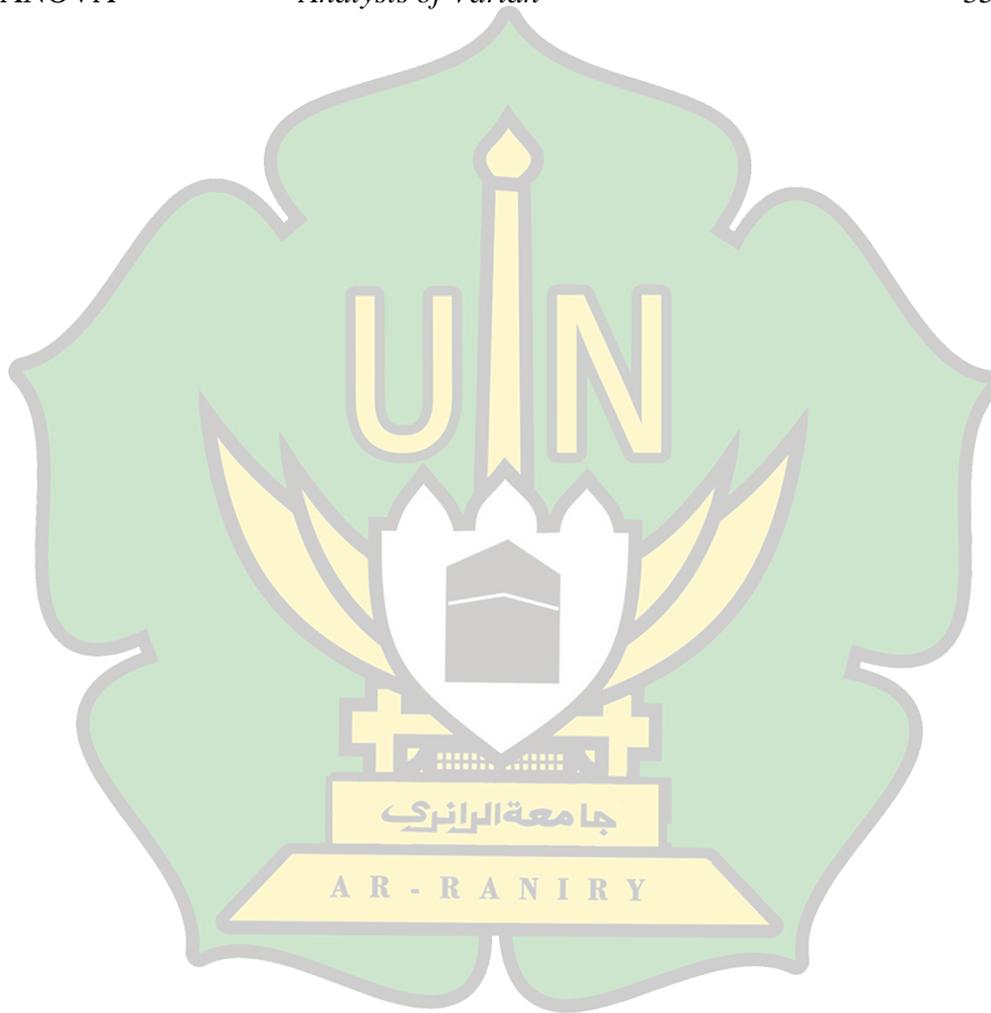
Lampiran A	Analisis data SPSS	67
Lampiran B	Perhitungan konsentrasi larutan stok logam $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	73
Lampiran C	Dokumentasi Penelitian	75



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan	Halaman
Pb	Timbal	1
Cr	Krom	1
Zn	Zinc	1
Ni	Nikel	1
Hg	Merkuri	1
mg/l	Milligram/liter	2
pH	<i>Potential of Hydrogen</i>	5
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	5
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>	5
DO	<i>Dissolved Oxygen</i>	5
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	5
DAS	Daerah Aliran Sungai	6
ppm	<i>Part per million</i>	10
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>	12
RNA	<i>Ribonukleat acid</i>	12
C	Karbon	14
H	Hidrogen	14
N	Nitrogen	14
µm	Mikrometer	16
IT IS	<i>Integrated Taxonomic Information System</i>	16
P	Fosfor	24
GPS	<i>Global Positioning System</i>	25
NA	<i>Natrium Agar</i>	27
NB	<i>Natrium Broth</i>	27
TSIA	<i>Triple Sugar Iron Agar</i>	30
SCA	<i>Simmon Citrate Agar</i>	30
SIM	<i>Sulfide Indole Motility</i>	30

SDD	<i>Susceptible Dose-Dependent</i>	33
CFU	<i>Colony Forming Unit</i>	34
ml	Milliliter	34
μ l	Mikroliter	34
SPSS	<i>Statistical Program for Social Science</i>	35
ANOVA	<i>Analysis of Varian</i>	35



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan industrialisasi yang pesat mengakibatkan terjadinya peningkatan pembuangan limbah industri ke lingkungan (Asrini dkk., 2017). Kontaminasi bahan pencemar yang berasal dari aktivitas industri, dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air yang signifikan pada badan air seperti sungai (Kosek dkk., 2019). Salah satu sumber pencemar pada badan air adalah logam berat (Ayol dkk., 2020). Akumulasi logam berat yang terjadi pada tanah, air tanah, sedimen, air permukaan dan udara akan memberikan dampak yang sangat berbahaya (Wang dkk., 2020).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan non esensial (Patty dkk., 2018). Logam berat esensial merupakan logam berat yang dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh tubuh dan dapat bersifat racun jika dikonsumsi secara berlebihan (Abidin dan Renjana, 2019). Sedangkan logam berat non esensial merupakan logam berat yang belum diketahui manfaatnya bahkan juga bersifat racun (Syaifullah dkk., 2018 dan Fahrudin dkk., 2019).

Sifat *non biodegradable* yang berasal dari logam berat dapat menyebabkan sulitnya dilakukan degradasi secara alami. Kurangnya sistem pengamanan pembuangan limbah industri ke lingkungan dapat menimbulkan efek toksisitas terhadap tumbuhan, hewan dan manusia. Secara umum, limbah logam berat yang dihasilkan oleh industri seperti timbal (Pb), Krom (Cr), tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni) dan merkuri (Hg). Logam-logam tersebut menjadi penyebab pencemaran di perairan dan dapat terakumulasi pada tubuh organisme perairan seperti ikan sehingga ikan dari perairan tersebut sebagai perantara logam berat masuk kedalam tubuh manusia (bioakumulasi) melalui proses perpindahan secara biologi (De Fretes dkk., 2019).

Seng merupakan salah satu logam berat esensial yang dibutuhkan hampir semua organisme dalam jumlah sedikit. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk Zn adalah 0,05 mg/l, yang melebihi baku mutu tersebut akan membahayakan kehidupan organisme (Adhani dan Husaini, 2017)

Dalam tubuh manusia Zn berperan dalam pencernaan protein dan juga berperan dalam metabolisme tulang, jantung, ginjal dan plasenta, namun jika kelebihan logam tersebut dalam tubuh akan mengalami gejala kram perut, iritasi kulit, mual, muntah dan anemia (Marawidjaja dkk., 2017). Seng dapat berasal dari hasil pelapukan batuan, erosi tanah yang mengandung seng, letusan gunung berapi dan kebakaran hutan. Sumber antropogenik Zn berasal dari penggunaan pupuk dan pengawet kayu yang mengandung Zn (Patty dkk., 2018).

Penanganan limbah logam berat di perairan dapat dilakukan dengan teknik fisikokimia, seperti filtrasi, perlakuan elektrokimia, oksidasi/reduksi, pertukaran ion, teknologi membran, dan reverse osmosis, akan tetapi jika diaplikasikan terus-menerus pada lingkungan akan berdampak negatif terhadap lingkungan tersebut (Pradesh dkk., 2017). Menurut Fernández dkk. (2020), penanganan kontaminasi logam berat bisa dilakukan dengan aktivitas biologi yang memanfaatkan bakteri. Bakteri yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim ekstraseluler yang diperlukan untuk bioremediasi limbah organik disebut dengan bakteri heterotrof. Menurut Diarti dkk. (2018) enzim ekstraseluler (*protease*, *selulase* dan *amilase*) diproduksi pada saat fermentasi aerob bahan organik oleh mikroorganisme, contohnya *Bacillus*. Enzim ekstraseluler merupakan enzim yang bekerja diluar sel. Bakteri heterotrof merupakan salah satu agen biologis yang berperan sebagai organisme pengurai sisa pakan dan bahan organik di dasar perairan.

Bakteri heterotrof juga dapat berperan sebagai biomonitoring (Supriyanti dkk., 2017). Biomonitoring adalah metode pemantauan kualitas lingkungan hidup, salah satunya perairan dengan menggunakan indikator biologis (bioindikator). Beberapa genus bakteri yang dapat dimanfaatkan sebagai pendegradasi pencemaran lingkungan, *Pseudomonas*, *Citrobacter*, *Bacillus* dan *Plectoma* (Ali dkk., 2020). Bakteri yang diisolasi dari wilayah yang tercemar logam berat

mempunyai daya resistensi dan adaptasi genetik terhadap logam berat di wilayah yang tercemar (Fahrudin dkk., 2019). Kemampuan resistensi dan adaptasi bakteri terhadap logam berat didasarkan pada spesies dan kadar konsentrasi logam yang terpapar (Dawaiyah, 2020).

Menurut El-barbary dan El-Badry (2018), terdapat lima spesies bakteri yang mampu mendegradasi logam berat Zn pada perairan yaitu *Bacillus megaterium*, *Rhizobium rhizogenes*, *Rhizobium leguminosarum*, *Azotobacter vinelandii* dan *Nocardiopsis dassonville* yang memiliki potensi variasi yang besar untuk bioremediasi Zn. Dari lima spesies tersebut *Bacillus megaterium* memiliki kapasitas tertinggi dalam mendegradasi Zn pada konsentrasi 650 ppm dengan penyisihan 99%. Menurut Varghese dkk. (2013), juga menemukan tiga isolat bakteri yaitu *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Enterobacter* yang ditemukan pada sampel tanah, sedimen, dan air. Dari ketiga bakteri tersebut yang tahan terhadap logam Zn yaitu *Bacillus* sp. yang dapat menurunkan kadar logam Zn pada sedimen hingga 50% pada pH 9 dengan konsentrasi logam 81,06 mg/l hingga 829,54 mg/l.

Kota Banda Aceh merupakan salah satu kota yang berada di daerah pesisir dengan perkembangan pembangunan yang begitu pesat (Hadi dkk., 2018). Kota Banda Aceh juga merupakan wilayah yang memiliki kondisi fisik dasar dilalui oleh aliran sungai, salah satu diantaranya adalah Sungai Krueng Aceh yang merupakan sungai terbesar dan terpanjang di Kota Banda Aceh. Sungai Krueng Aceh adalah sungai *estuary* (muara), sebagai implikasi sungai *estuary*, akan terbentuk zona *estuary turbidity maxima* (ETM) yang menjadi daerah terperangkap kontaminan-kontaminan di Sungai Krueng Aceh (Alfaisal dkk., 2017). Menurut Hamdan dkk. (2022), wilayah perairan muara Sungai Krueng Aceh diduga telah tercemar oleh buangan limbah domestik, limbah sektor pertanian, dan aktivitas kapal nelayan. Sampel yang diambil dari sedimen Sungai Krueng Aceh, ditemukan bahwa adanya konsentrasi Zn sebesar 447 mg/l. Konsentrasi tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan di perairan (Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021).

Menurut Fu dkk. (2020), faktor utama yang mempengaruhi kualitas perairan adalah kontaminan pada sedimen. Menurut Escamilla-Rodríguez dkk. (2021) bakteri yang hidup pada sedimen dengan konsentrasi logam yang tinggi, dapat dikatakan bakteri yang diisolasi dari lingkungan tersebut mampu bertahan pada lingkungan tercemar logam dan dapat dijadikan sebagai agen bioremediasi.

Bioremediasi pada sedimen sungai dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara insitu dan eksitu. Berdasarkan Rahayu dan Mangkoedihardjo (2022), bioremediasi pada sedimen sungai secara in situ dapat dilakukan dengan memakai dua pipa di bagian tepi sungai hingga mencapai sedimen. Selain itu dibuat bendung sebagai pembatas yang berfungsi untuk mencegah bergesernya sedimen dalam proses bioremediasi pada sungai dengan mempertimbangkan luas segmen yang digunakan. Harmesa, (2020), bioremediasi secara eksitu dapat dilakukan dengan pemindahan sampel dan uji bioremediasi dilakukan di laboratorium.

Berdasarkan uraian diatas peneliti tertarik melakukan penelitian di wilayah tersebut untuk mendapatkan isolat bakteri resisten logam Zn yang berpotensi sebagai bioindikator dalam biomonitoring parameter fisik dan kimia air dan juga sebagai agen bioremediasi untuk mengurangi dampak negatif pada sungai yang tercemar Zn.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni bakteri yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh?
2. Bagaimana karakteristik *Bacillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh?
3. Bagaimana resistensi *Bacillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh terhadap logam berat seng (Zn) pada berbagai konsentrasi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh.

2. Untuk mengetahui karakteristik *Bacillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh.
3. Untuk mengetahui resistensi *Bacillus* sp. terhadap logam berat Zn pada berbagai konsentrasi.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi peneliti, penelitian ini akan menjadi penambahan informasi mengenai karakteristik dan resistensi *Bacillus* sp. yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh terhadap logam seng (Zn).
2. Mengetahui salah satu alternatif dalam mengurangi pencemaran logam berat dengan menggunakan bakteri.

1.5. Batasan Masalah

Berdasarkan objek penelitian dan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian yang dilakukan perlu adanya batasan penelitian, yaitu:

1. Parameter fisik dan kimia air sungai yang diukur adalah pH, kekeruhan, TSS, TDS, DO, COD.
2. Bakteri yang diisolasi dan diidentifikasi dalam penelitian ini adalah bakteri *Bacillus* sp. yang terdapat pada sedimen Sungai Krueng Aceh.
3. Morfologi yang diamati yaitu ciri bakteri secara makroskopis (bentuk, warna, tepi dan permukaan koloni) dan mikroskopis dengan pewarnaan gram, uji biokimia dan uji endospora.
4. Isolat yang digunakan sebagai agen bioremediasi dalam penelitian ini hanya *Bacillus* sp. saja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sungai

Sungai merupakan perairan terbuka, yang mengalirkan dan menampung semua limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia di kawasan pemukiman, pertanian dan industri di sekitarnya (Kosek dkk., 2019). Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi untuk menampung, menyediakan, dan mengalirkan air secara alami dari air hujan ke laut, yang batas di darat merupakan topografi dan batas di laut sampai daerah perairan yang masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan (Peraturan Pemerintah Indonesia No. 38, 2011).

Sedimen adalah bagian-bagian tanah yang tersangkut oleh air dari hasil erosi pada suatu DAS dan masuk ke dalam badan air. Sedimen merupakan hasil proses erosi, berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya, kemudian hasil erosi tersebut akan masuk ke dalam badan perairan hingga terjadinya sedimentasi pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat. Sedimentasi adalah peristiwa suatu proses pengendapan material yang dipindahkan oleh tenaga air atau angin. Endapan yang terdapat pada muara sungai adalah hasil dan proses pengendapan material-material yang telah tersangkut oleh air sungai, saat erosi terjadi, air membawa material-material yang mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut, pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, material tersebut akan mengendap di sedimen dasar (Yohannes dkk., 2019).

Permasalahan yang timbul pada sedimen sungai adalah adanya zat yang berbahaya bagi lingkungan (polutan). Polutan yang berasal dari aktivitas manusia merupakan sumber utama polutan pada sedimen sungai, seperti kegiatan penggunaan lahan di sekitar sungai (perkotaan dan pedesaan), pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga, dan limbah pertambangan maupun limbah pertanian. Konsentrasi pencemaran pada sedimen sungai cukup tinggi jika

dibandingkan dengan pencemaran pada air sungai, seperti pencemaran logam berat (Andika dkk., 2020).

2.2. Indikator Pencemaran

Air yang baik adalah air yang tidak tercemar secara berlebihan oleh zat-zat kimia atau mineral yang berbahaya bagi kesehatan. Menurut Ali dan Rosyadi, (2020) beberapa indikator bahwa air sungai telah tercemar dicirikan dengan beberapa hal berikut:

1. Perubahan suhu

Air yang semula berkualitas baik dapat berubah sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan perairan, akibat kegiatan industri atau kegiatan lainnya yang memerlukan pendinginan mesin. Air panas yang muncul akibat kegiatan tersebut merupakan limbah yang harus dibuang dan apabila air panas tersebut langsung dibuang ke lingkungan akan mengganggu kehidupan hewan air dan mikroorganisme lainnya. Kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa dampak seperti penurunan jumlah oksigen yang terlarut didalam air, meningkatkan kecepatan reaksi kimia, apabila batas suhu yang mematikan terlampaui, ikan dan hewan air lainnya akan mati.

2. Perubahan pH

pH air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan berkisar 6,5-7,5. Apabila pH air tidak dalam kisaran angka tersebut maka air sudah dalam keadaan tercemar. Perubahan pH air dapat mengganggu kehidupan makhluk hidup, misalnya pembuangan limbah ke perairan dapat mengubah pH air yang dapat mengakibatkan gangguan pada makhluk hidup didalamnya.

3. Perubahan warna, bau, dan rasa

Pembuangan limbah ke perairan dapat mengubah warna, bau, dan rasa. Bahan buangan tersebut dapat larut dalam air menjadi koloid atau mengendap. Air dalam keadaan normal dan bersih pada umumnya tidak akan berwarna, sehingga tampak bening dan jernih, tetapi hal itu tidak berlaku mutlak, seringkali zat-zat beracun justru terdapat pada bahan buangan industri yang tidak mengakibatkan perubahan warna pada air. Warna kuning akan muncul jika air tercemar chromium

dan materi organik. Jika air berwarna merah kekuningan, itu menunjukkan adanya cemaran besi. Sementara pengotor berupa lumpur akan memberi warna kecoklatan. Bau yang tercium dalam air tanah juga menunjukkan adanya pencemaran. Apapun baunya, itu sudah menunjukkan bahwa air tanah tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Demikian pula dengan air yang memiliki rasa berarti telah terjadi penambahan material pada air dan mengubah pH air. Polutan berupa mineral akan membuat air tanah memiliki rasa tertentu. Jika terasa pahit, pemicunya bisa berupa besi, aluminium, mangan, sulfat, atau kapur dalam jumlah besar. Air tanah yang rasanya seperti air sabun menunjukkan adanya cemaran alkali. Sumbernya bisa berupa natrium bikarbonat, atau bahan pencuci lain, misalnya detergen. Sedangkan rasa payau menunjukkan kandungan garam yang tinggi, sering terjadi didaerah sekitar muara sungai (Trisnaini dkk., 2019).

4. Timbulnya endapan, koloidal, dan bahan terlarut

Keruh merupakan tanda bahwa air tanah telah tercemar oleh koloid (bio zat yang lekat seperti getah atau lem). Lumpur, tanah liat, dan berbagai mikroorganisme seperti plankton atau partikel lainnya juga bisa menyebabkan air berubah menjadi keruh. Bahan buangan yang berbentuk padat, sebelum mengendap di dasar sungai akan melayang didalam air bersama koloidal, sehingga menghalangi masuknya sinar matahari kedalam lapisan air. Padahal sinar matahari sangat diperlukan oleh mikroorganisme untuk melakukan fotosintesis (Sukmawati dkk., 2021).

5. Adanya mikroba

Mikroba sangat berperan dalam proses degradasi bahan buangan dari limbah industri maupun domestik. Bila bahan buangan yang harus didegradasi cukup banyak, maka mikroba akan ikut berkembang biak. Tidak tertutup kemungkinan bahwa mikroba patogen ikut berkembang (Belladonna, 2017).

6. Meningkatnya radioaktivitas air lingkungan

Zat radioaktif dari berbagai kegiatan dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan biologis apabila tidak ditangani dengan benar. Efek yang terjadi dapat berupa efek langsung maupun efek tertunda (Ode dkk., 2019).

Selain indikator tersebut, terdapat parameter kimia yang menunjukkan telah terjadi pencemaran air, yaitu DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan jumlah total zat terlarut. DO atau oksigen terlarut adalah banyaknya oksigen yang terkandung dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas air. Air yang memiliki DO tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang rendah, dan sebaliknya air yang memiliki DO rendah menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi (Kumaji dkk., 2019) .

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh mikroorganisme air sebagai sumber oksigen dalam proses pernapasan. Semakin sedikit oksigen yang ditunjukkan dengan mikroorganisme air yang semakin sedikit, bahkan seringkali tumbuh mikroorganisme anaerob. Bila mikroorganisme anaerob yang tumbuh, maka air tersebut seringkali berbau tidak sedap. BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pengurai untuk menguraikan zat organik dalam keadaan aerob. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun sukar didegradasi (Kamalia dan Sudarti, 2022).

2.3. Faktor Penyebab Pencemaran

Faktor-faktor yang menyebabkan air tercemar terbagi dua, yaitu faktor alam (gempa bumi, aktivitas gunung berapi dan banjir) dan faktor manusia diantaranya:

1. Buangan limbah rumah tangga

Limbah pemukiman atau rumah tangga mengandung limbah domestik berupa sampah organik, sampah anorganik, deterjen. Sampah organik merupakan sampah yang dapat diuraikan atau dibusukkan oleh bakteri. Contohnya sisa-sisa sayuran, buah-buahan, dan daun-daunan. Apabila sampah organik dibuang ke sungai jumlah oksigen terlarut akan berkurang karena sebagian besar oksigen digunakan bakteri untuk proses pembusukan. Sedangkan sampah anorganik adalah sampah yang tidak dapat diuraikan oleh bakteri (*non biodegradable*),

contohnya kertas, plastik, gelas atau kaca, kain, kayu-kayuan, logam, karet, dan kulit. Apabila sampah anorganik dibuang ke sungai, maka cahaya matahari yang masuk ke sungai dapat terhalang sehingga menghambat proses fotosintesis dari tumbuhan air dan alga untuk menghasilkan oksigen (Nuraeni dkk., 2019).

Deterjen merupakan limbah pemukiman yang paling potensial mencemari air. Pada saat ini hampir setiap rumah tangga menggunakan deterjen, padahal limbah deterjen sangat sukar diuraikan oleh bakteri sehingga tetap aktif untuk jangka waktu yang lama. Bahkan penggunaan deterjen secara besar-besaran dapat meningkatkan senyawa fosfat pada air sungai atau danau. Fosfat ini merangsang pertumbuhan ganggang dan eceng gondok. Pertumbuhan ganggang dan eceng gondok yang tidak terkendali menyebabkan permukaan air danau atau sungai tertutup sehingga menghalangi masuknya cahaya matahari dan mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis. Jika tumbuhan air ini mati, akan terjadi proses pembusukan yang menghabiskan persediaan oksigen dan menyebabkan pengendapan bahan-bahan yang mengakibatkan pendangkalan (Naomi dkk., 2019).

2. Limbah pertanian

Limbah pestisida mempunyai aktivitas dalam jangka waktu yang lama dan ketika terbawa aliran air ke luar dari daerah pertanian, dapat mematikan hewan yang bukan sasaran seperti ikan, udang, dan hewan air lainnya. Pestisida mempunyai sifat relatif tidak larut dalam air, tetapi mudah larut dan cenderung konsentrasinya meningkat dalam lemak dan sel-sel tubuh makhluk hidup, sehingga apabila masuk dalam rantai makanan konsentrasinya semakin tinggi dan yang tertinggi adalah pada konsumen puncak. Contohnya ketika di dalam tubuh ikan kadarnya 6 ppm, di dalam tubuh burung pemakan ikan kadarnya naik menjadi 100 ppm, dan akan meningkat terus sampai konsumen puncak (Nasution dan Slamet, 2020).

3. Aktivitas industri

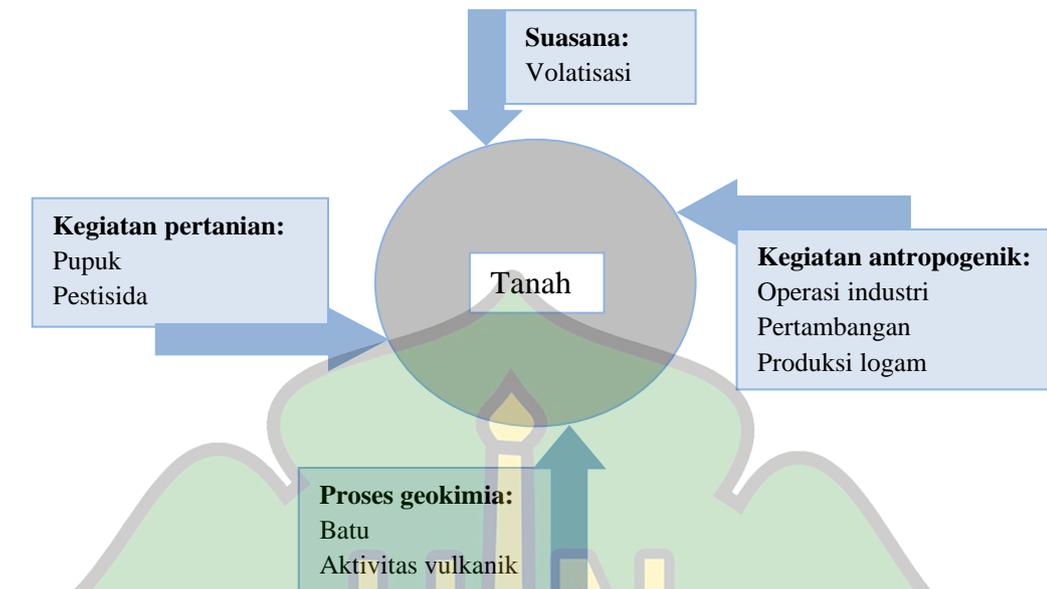
Limbah industri yang berbahaya antara lain yang mengandung logam dan cairan asam. Misalnya industri pelapisan logam menghasilkan limbah yang dihasilkan industri pelapisan logam, yang mengandung tembaga dan nikel serta

cairan asam sianida, asam borat, asam kromat, asam nitrat, dan asam fosfat. Limbah ini bersifat korosif, dapat mematikan tumbuhan dan hewan air. Pada manusia menyebabkan iritasi pada kulit dan mata, mengganggu pernafasan dan menyebabkan kanker (Wilda dkk., 2020).

2.4. Logam Berat

Logam berat adalah salah satu unsur alam yang ada di lingkungan (Singh dkk., 2018). Logam berat juga merupakan unsur-unsur kimia yang berat jenisnya lebih dari 5 gr/m^3 dan 6 gr/m^3 , mempunyai afinitas yang tinggi dan bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 (El Baz, 2017). Menurut Singh dkk. (2018) istilah “logam berat” mengacu pada logam atau metaloid dengan kepadatan melebihi 5 g/cm^3 dan biasanya dikaitkan dengan polusi dan toksisitas, meskipun beberapa dari unsur-unsur tersebut (logam esensial) yang sebenarnya dibutuhkan oleh organisme pada konsentrasi rendah.

Beberapa logam berat, seperti Cu, Zn, dan Fe, sangat penting untuk fungsi fisiologis organisme hidup, tetapi akan menjadi toksik apabila konsentrasi yang terkandung pada logam tersebut tinggi. Toksisitas suatu logam tergantung pada logam itu sendiri, konsentrasi totalnya, ketersediaan logam untuk organisme, dan organisme itu sendiri. Misalnya, seng (Zn) adalah komponen yang ditemukan dalam berbagai enzim (*dehidrogenase*, *proteinase*, *peptidase*), namun juga terlibat dalam metabolisme karbohidrat, protein, fosfat, auksin, dan juga pembentukan RNA dan ribosom pada tumbuhan (Adani dkk., 2018). Berikut Gambar 2.1 asal mula pencemaran lingkungan oleh logam berat pada perairan.



Gambar 2.1. Ilustrasi skema asal mula pencemaran lingkungan oleh logam berat
Sumber: (El Baz, 2017)

Sumber penyebab penyebaran logam di lingkungan juga udara karena proses penggunaan logam tersebut pada suhu yang tinggi. Seperti penggunaan batu bara dan minyak bumi untuk proses pembangkit tenaga listrik, proses industri, peleburan logam, pemurnian logam, pembakaran sampah, maupun industri semen. Logam berat yang masuk kedalam tubuh hewan dan manusia melewati intravaskuler dan ekstrasvaskuler (sirkulasi sistematis) dan dialirkan secara langsung ke seluruh tubuh (Ahmad, 2018)

Pencemaran logam berat yang masuk ke lingkungan perairan akan larut dalam air dan akan terakumulasi dalam sedimen, kemudian dapat bertambah seiring dengan berjalannya waktu, tergantung dari kondisi lingkungan perairan tersebut. Logam berat dalam air mudah terserap dan tertimbun dalam fitoplankton yang merupakan titik awal dari rantai makanan. Logam berat yang terikat dalam sedimen tersebut relatif sulit untuk dilepas kembali larut kedalam air, sehingga semakin banyak jumlah sedimen maka semakin tinggi pula kandungan logam berat dalam sedimen. Keberadaan logam berat diperairan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan yang meliputi suhu, pH, dan salinitas (Angraeni, 2017).

2.4.1. Logam Berat Seng (Zn)

Zinc (Zn) mempunyai nomor atom 30 dan massa atom relatif 65,38 yang terletak pada periode 4 golongan IIB (Adhani dan Husaini, 2017). Seng (Zn) merupakan logam berwarna putih kebiruan, berkilau, dan bersifat diamagnetik. Seng berperan penting bagi kelangsungan hidup sel-sel tubuh manusia, yang berperan dalam penyusunan struktur protein dan membran sel, dan juga dibutuhkan dalam sintesis DNA, replikasi DNA serta transkripsi RNA (Novi dkk., 2019).

Seng biasanya dapat membentuk ikatan kompleks dengan ligan organik seperti asam humus. Pembentukan ikatan kompleks dan adsorpsi Zn oleh padatan tersuspensi dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia perairan, sehingga faktor kimia selain bahan organik total, selain itu juga terdapat faktor yang berperan lebih menonjol seperti pH atau *redox potential* pada sedimen (Edward, 2019).

Seng yang masuk ke lingkungan perairan bersumber dari hasil pembuangan limbah industri, pengelasan logam, dan patri. Manusia dalam tubuhnya memerlukan 12-15 mg Zn setiap hari. Konsentrasi logam Zn yang berlebihan dalam tubuh dapat mengakibatkan keracunan, seperti muntah, kram perut, dan tekanan darah rendah, bahkan kematian. Selain itu juga dapat menyebabkan osteomalasia, kalkulirenalisis, dan proteinuria (Subarkah dkk., 2021). Bentuk dan warna logam Zn dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Logam Zn
Sumber : (Novi dkk., 2019)

2.4.2. Sifat dan Toksisitas Logam Seng

Seng yang dikonsumsi sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, anemia, dan gangguan pada reproduksi. Suplemen seng dapat menyebabkan keracunan, dan juga makanan yang asam yang disimpan dalam kaleng yang dilapisi seng (Syaifullah dkk., 2018).

Seng tidak dikatakan toksik jika dalam keadaan sebagai ion, tetapi jika dalam keadaan bebas Zn memiliki toksisitas tinggi. Seng merupakan unsur yang esensial bagi tubuh, namun jika dalam konsentrasi tinggi Zn dapat berbahaya dan bersifat toksik (Jamilatur dkk., 2021). Absorpsi Zn yang berlebihan mampu menekan absorpsi Co dan Fe. Zn tidak terakumulasi seiring dengan bertambahnya waktu paparan karena Zn dalam tubuh diatur oleh mekanisme homeostatik, sedangkan kelebihan Zn akan di absorpsi dan disimpan dalam hati (Adhani dan Husaini, 2017).

2.5. Peran Mikroba sebagai Biomonitoring Perairan Sungai

Mikroba merupakan makhluk hidup terkecil di bumi, namun memegang peranan penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Banyak sekali tipe mikroba di bumi, dan yang telah diketahui tidak lebih dari 1% dari jumlah spesies mikroba di bumi. Dalam satu gram tanah terdapat satu miliar mikroba yang terdiri atas ribuan spesies. Mikroba merupakan tulang punggung ekosistem yang tidak terkena sinar matahari, misalnya bakteri kemosintetik, yang menyediakan energi dan karbon untuk organisme lain. Beberapa mikroba merupakan dekomposer yang memiliki kemampuan mendaur ulang nutrisi. Jadi, mikroba sangat berperan penting dalam daur biogeokimia. Mikroba khususnya bakteri, bersimbiosis dengan makhluk hidup lain yang berdampak positif dan negatif pada ekosistem (Rusyda, 2017).

Mikroba mampu merespon perubahan fisika atau kimia dalam suatu lingkungan. Oleh karena itu, mikroba banyak digunakan sebagai indikator alami terhadap perubahan lingkungan terutama akibat dari pencemaran. Saat ini banyak mikroba yang dimanfaatkan di bidang lingkungan dan berperan dalam membantu memperbaiki kualitas lingkungan, terutama untuk mengatasi masalah pencemaran

lingkungan, baik di lingkungan tanah maupun perairan. Dalam hal ini akan dibahas beberapa pemanfaatan mikroba dalam proses peruraian bahan pencemar dan peran lainnya untuk mengatasi bahan pencemar air (Escamilla dkk., 2021).

Ada beberapa bakteri yang dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat pencemaran di perairan. Kelompok bakteri heterotrof yang berperan penting dalam sistem perairan karena kemampuan aktivitas metabolismenya, baik pada lingkungan aerob maupun anaerob. Bakteri heterotrof merupakan golongan bakteri yang mampu memanfaatkan dan mendegradasi senyawa organik kompleks yang mengandung unsur C, H, dan N. Bakteri heterotrofik lebih umum dijumpai di perairan dibandingkan bakteri autotrofik, oleh karena itu dalam ekosistem perairan, bakteri heterotrofik berfungsi menghancurkan bahan-bahan organik pencemar dalam air (Arifuddin dan Banna, 2021).

Kelangsungan hidup bakteri heterotrof di perairan tergantung dari senyawa-senyawa organik, baik untuk kebutuhan energinya maupun sebagai sumber karbon yang diperlukan untuk pembentukan biomasnya. Bakteri heterotrofi lebih umum ditemukan dibandingkan bakteri autotrof (Nursyirwani dan Yoswaty, 2021). Diarti dkk. (2018) berhasil mengidentifikasi keragaman bakteri heterotrofik pada perairan dari daerah Gunung Kidul, Yogyakarta, yaitu: *Bacillus*, *Serratia*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, dan *Chromobacter*.

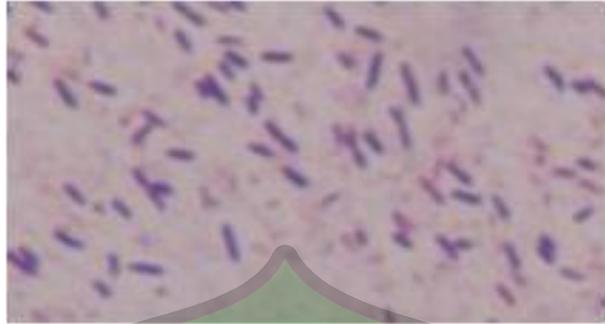
2.6. Bakteri yang Mampu Mendegradasi Logam Berat

Bakteri yang dapat mendegradasi logam berat telah banyak ditemukan di alam seiring terjadinya pencemaran logam berat di lingkungan. Secara umum ada beberapa cara mikroba dalam mengurangi tingkat pencemaran logam berat diantaranya, detoksifikasi (biopresipitasi), *biohidrometalurgi*, *bioleaching*, dan bioakumulasi. Pada saat logam berat di suspensikan (*mixing*) dengan isolat mikroba, akan terbentuk suatu ligan kompleks yang bervariasi. Terdapat dua fase dalam mendegradasi logam berat diantaranya, fase pengikatan logam berat oleh bakteri dan fase transpor aktif (El Baz, 2017).

Fase pengikatan terjadi pada dinding sel dan fase transpor aktif terjadi pada bagian internal sel. Beberapa bakteri yang telah di uji yang memiliki potensi mampu melakukan bioremediasi terhadap logam berat dengan mendegradasi logam. Bakteri yang mampu mengikat logam berat diantaranya *Thiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus cereus*, *Zoogloea* sp., *Citrobacter* sp, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenylobacterium*, *Enhydrobacter*, dan *Flavobacterium* (Varghese dkk., 2013).

Bacillus sp. merupakan salah satu bakteri yang mampu mendegradasi logam berat. *Bacillus* sp. dapat diisolasi dari udara, tanah, air tawar atau asin, baik dilingkungan normal ataupun lingkungan ekstrim, termasuk lingkungan yang tercemar logam berat. Generasi *Bacillus* memiliki manfaat untuk produk enzim, antibiotik, pelarut, dan insektisida alami pada tanaman. Sebaliknya, juga terdapat *Bacillus* yang bersifat patogen bagi manusia dan hewan yaitu *Bacillus anthracis*. Kemampuan *Bacillus* yang beragam salah satunya resisten terhadap logam berat dapat dikembangkan lebih lanjut untuk tujuan bioremediasi (Ahda dan Fitri, 2017)

Bakteri *Bacillus* sp. diklasifikasikan kedalam genus *Bacillus* spesies *Bacillus* sp. Bakteri *Bacillus* sp. juga digolongkan dalam bakteri sel berbentuk batang memiliki ukuran $0,3-2,2 \mu\text{m} \times 1,27-7,0 \mu\text{m}$, dapat bergerak (motil), membentuk endospora, tidak lebih dari satu dalam satu sel sporangium, gram positif, aerobik dan anaerobik fakultatif, dapat dijumpai di tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bakteri *Bacillus* sangat toleran terhadap toksisitas logam berat serta mampu menghilangkan logam berat dari lingkungan yang tercemar dan juga memiliki kemampuan penyerapan logam berat tinggi. Bakteri ini biasanya ditemui pada tanah yang tercemar logam berat dan resisten terhadap logam berat seperti Pb dan Cr serta dapat mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} , dapat mengekstrak logam berat dari bijih logam, dalam aktivitas metabolitnya dapat menghasilkan produk asam-asam organik, kelat (Ahmad, 2018). Gambar 2.3 menunjukkan ciri-ciri *Bacillus* sp. secara mikroskopis.



Gambar 2.3 Bakteri *Bacillus* sp.
Sumber: Rahadi dkk.(2019).

Berdasarkan *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS) (2021), klasifikasi taksonomi *Bacillus* sp. adalah antara lain:

Divisi : *Bacteria*

Kelas : *Schizomycetes*

Ordo : *Eubacteriales*

Famili : *Bacillaceae*

Genus : *Bacillus*

Spesies: *Bacillus*

Bacillus sp. digolongkan sebagai bakteri heterotrofik, yaitu protista bersifat uniseluler, dan juga termasuk golongan mikroorganisme redusen dan dekomposer. Sebagian bakteri yang terdapat di laut termasuk dalam kelompok bakteri bersifat heterotrof dan saprofit (ITIS, 2021). Jenis *Bacillus* sp. menunjukkan bentuk koloni yang berbeda pada media agar. Warna koloni pada umumnya putih hingga kekuningan atau putih suram, tepi koloni tidak rata, permukaannya kasar dan tidak berlendir, bahkan ada yang cenderung kering berbuk, koloni besar dan tidak mengkilap. Bentuk koloni dan ukurannya bervariasi tergantung dari jenisnya. Selain itu bakteri *Bacillus* juga menunjukkan kemampuan dan ketahanan yang berbeda-beda dalam menghadapi kondisi lingkungannya, misalnya ketahanan terhadap panas, asam, kadar garam, dan sebagainya (Puspita dkk., 2017). Tabel 2.1 menunjukkan beberapa penelitian terdahulu yang menemukan bakteri resisten terhadap logam berat.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Parameter yang direduksi	Penulis	Hasil
1.	Zn	El-barbary dan El-Badry (2018)	Bakteri. <i>Bacillus megaterium</i> memiliki kapasitas tertinggi untuk bioremediasi Zn (II) pada konsentrasi 650 ppm dengan penyisihan 99%. Dari hasil penelitian yang sangat tahan akan logam seng yaitu <i>Bacillus sp.</i> yang dipilih untuk percobaan pendegradasi seng yang mengungkapkan bahwa pada pH 5 terjadi pengurangan sekitar 40%; pada pH 7, 25% terjadi; dan pada pH 9, 50%
3.	Zn	Varghese dkk, (2013)	Bakteri yang ditemukan pada sedimen sebanyak 16 genus yaitu <i>Enterobacteria</i> , <i>Eubacterium</i> , <i>Listeria</i> , <i>Actinobacillus</i> , <i>Bacteroides</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Plesiomonas</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Bordetellaparapertussis</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Neisseria</i> dan yang lebih dominan ditemukan yaitu <i>Bacillus</i> . Dari hasil penelitian tersebut ditemukan bahwa angka removal paling tinggi untuk logam Cu dan Zn didegradasi oleh biosurfaktan dari <i>Pseudomonas putida</i> . Sedangkan angka removal paling tinggi untuk Pb didegradasi oleh biosurfaktan <i>Acinetobacter sp.</i>
4.	Keragaman bakteri pada sedimen	Gloria dkk.(2019)	
5.	Pb, Cu, Zn	Nurul, (2014)	

2.7. Mekanisme Resistensi Bakteri Terhadap Zn

Mikroorganisme dapat mengabsorpsi atau mentransfer logam melalui reaksi enzimatik, logam tersebut yang kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme di dalam sel dan juga bisa di ubah menjadi bentuk kimia lain yang tidak toksik dan tidak menyebabkan pencemaran pada lingkungan. Konsentrasi logam yang tinggi dapat menjadi toksik pada mikroorganisme. Keberadaan logam yang tinggi pada lingkungan dapat mempengaruhi pertumbuhan, morfologi, aktivitas biokimia, penurunan biomassa dan keanekaragaman populasi mikroorganisme (Farida dan Dalya, 2016).

Metabolisme bakteri berkaitan erat dengan mekanisme resistensi bakteri terhadap logam berat. Terdapat beberapa bakteri yang toleran terhadap logam berat dengan cara melakukan *efflux* dan juga dapat dilakukan dengan cara kompleksasi yang meliputi produksi polisakarida ekstraseluler yang bersifat anion sebagai bioakumulator, produksi metabolit organik yang mempunyai sifat pengkelat dan pembentuk kompleks dengan logam, presipitasi, kristalisasi ekstraseluler oleh bakteri pereduksi sulfat sehingga terbentuk deposit sulfida yang kaya akan logam dan bioakumulasi intraseluler melalui pembentukan *metallothionein* yaitu protein kaya sistein dalam sel yang dapat mengikat logam dengan fungsi sebagai detoksifikasi, penyimpanan, dan regulasi ion logam dalam sel (Supriyanti dkk., 2017).

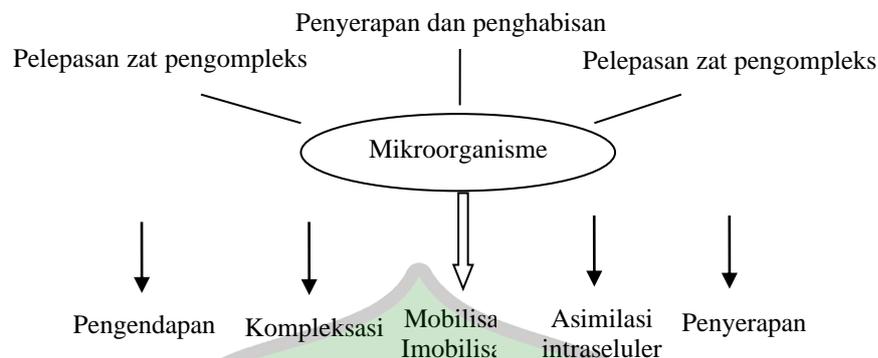
Pengikatan logam berat oleh bakteri dapat dipisahkan menjadi dua fase diantaranya fase pengikatan dan transpor aktif. Fase pengikatan berpengaruh terhadap metabolisme sel yaitu absorpsi melalui dinding sel atau permukaan eksternal, kemudian diikuti dengan transport aktif yang mempengaruhi metabolisme sel. Pada proses metabolisme, logam berat terakumulasi pada membran sel (ekstraseluler) dan pada sitoplasma (intraseluler). Akumulasi ekstraseluler bisa terjadi karena adanya proses pengikatan ion-ion logam oleh polimer ekstraseluler atau polisakarida ekstraseluler yang dihasilkan oleh sel-sel mikroorganisme dan juga komplikasi antara ion-ion logam bermuatan positif dengan sisi reaktif pada permukaan sel bermuatan negatif. Sedangkan akumulasi intraseluler dapat terjadi karena adanya proses difusi yang tidak membutuhkan aktivitas mikroorganisme secara langsung, dimana gen-gen yang mengendalikan plasmid pada proses metabolisme tersebut (Fernández dkk., 2020).

Menurut El-barbary dan El-Badry, (2018), kemampuan pengakumulasian logam oleh bakteri disebabkan oleh kemampuan bakteri dalam menurunkan tingkat konsentrasi yang tinggi logam atau dapat menghilangkannya pada lingkungan tercemar logam tersebut. Berikut mekanisme pengolahan logam oleh bakteri:

1. Bakteri mengeluarkan cairan ekstra kemudian bereaksi dengan logam berat, selanjutnya logam diendapkan sekeliling sel dalam bentuk selongsong;

2. Logam berat selanjutnya ikut dalam metabolisme sel bakteri dan mengalami proses biotransformasi destruktif berupa reaksi reduksi yang membentuk molekul organik. Adanya kemampuan biotransformasi yang didukung dengan kemampuan bakteri dalam mensintesis enzim adaptif dalam mengkatalis reaksi biotransformasi tersebut;
3. Secara umum terdapat dua jenis penyerapan logam berat yaitu penyerapan yang tidak mempengaruhi metabolisme (*metabolism-independent*) dan menyebabkan terakumulasinya logam di dalam sel. Pengambilan logam berat oleh bakteri dapat dipisahkan menjadi fase pengikatan dan transpor aktif. Fase pengikatan tidak tergantung pada metabolisme sel yaitu adsorpsi melalui dinding sel atau permukaan eksternal, kemudian diikuti dengan transport aktif. Adsorpsi adalah proses dimana atom, partikel atau molekul suatu zat terikat pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik dari atom atau partikel pada lapisan bagian luar atau permukaan zat padat. Bagian luar dinding sel bakteri yang bermuatan negatif akan mengikat ion logam berat secara intraseluler sebagai akibat dari kenaikan permeabilitas membran sel, khususnya ketika terjadi toksisitas. Proses pengambilan yang tidak dipengaruhi oleh metabolisme termasuk adsorpsi dapat disebut biosorpsi yang terjadi pada sel yang hidup maupun mati.
4. Pengikatan logam berat yang terdapat pada struktur sel bakteri (khususnya dinding sel). Dinding sel bakteri gram negatif dan gram positif didefinisikan sebagai tempat kontak awal antara sel dengan lingkungan eksternal. Permukaan sel bakteri menyediakan area permukaan yang besar untuk interaksi dengan ion logam.

Berikut Gambar 2.4 Mekanisme pengolahan logam oleh bakteri.

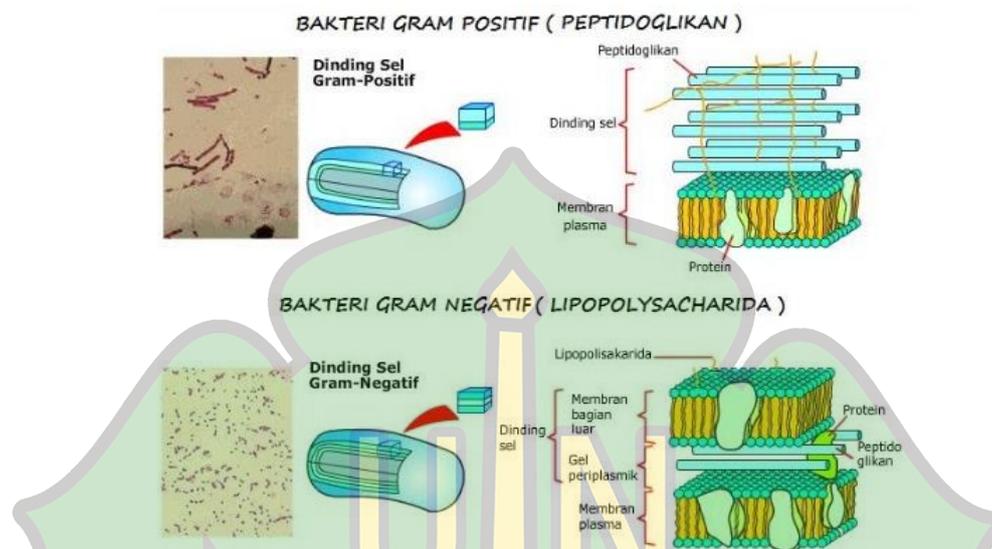


Gambar 2.4. Mekanisme pengolahan logam oleh bakteri
 Sumber: El-barbary dan El-badry, (2018),

Menurut Wang dkk. (2020), mekanisme pengikatan pada logam berat oleh bakteri gram positif dan gram negatif berbeda.

1. Pengikatan logam pada bakteri gram positif terjadi karena adanya sifat anionik dari peptidoglikan dan polimer yang menyusun permukaan selnya. Peptidoglikan adalah komponen utama dinding sel yang terdiri dari enam komponen berbeda yaitu N-asetilglukosamin, asam N-asetilmuramik, L-alanin, asam D-glutamik dan L-lysine. Kemudian batang peptide yang melekat pada sisa asam muramik yang kaya akan grup karboksil serta memberikan tempat yang reaktif terhadap penyerapan logam. Polimer kedua yang berperan dalam penyerapan logam yaitu asam “*teichoic*” atau asam “*theichuronic*” dengan peptidoglikan yang merupakan bahan paling penting pada kemampuan dinding sebagai penyerap ion logam. Asam “*teichoic*” merupakan senyawa bermuatan negatif kuat dan secara struktural terikat pada peptidoglikan.
2. Pengikatan logam pada bakteri gram negatif melibatkan lapisan peptidoglikan dan membran luar yang terdiri dari struktur bilayer dari fosfolipid bagian dalam dan lipopolisakarida pada bagian luarnya. Membran tersebut merupakan membran pertama yang beradaptasi langsung dengan lingkungan luar. Pengikatan tersebut bisa dijumpai pada selubung sel atau komponen

membran sel pada bagian gugus fosfat dari lipopolisakarida. Berikut Gambar 2.5 dinding sel bakteri.



Gambar 2.5. Dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negatif
Sumber : Wang dkk. (2020)

2.8. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan salah satu cara atau proses penurunan tingkat racun dalam tanah atau lingkungan lainnya menggunakan mikroorganisme (seperti ragi, jamur, dan bakteri). Bioremediasi juga didefinisikan sebagai teknik yang menggunakan mikroba untuk mengolah kontaminan melalui mekanisme biodegradasi alamiah dengan penambahan mikroba, nutrien, donor elektron dan akseptor elektron (Ahda dan Fitri, 2017).

Mikroorganisme berperan penting dalam geoaktif di *biosphere* dan juga berperan dalam pengendalian pencemaran logam berat di lingkungan. Hal tersebut terjadi melalui mekanisme resistensi yang mempengaruhi transformasi antara bentuk terlarut dan tidak terlarut. Proses bioremediasi terjadi pada senyawa yang diproduksi oleh mikroorganisme dengan memodifikasi polutan beracun dan mengubah struktur kimia polutan (biotransformasi)(Ahmad, 2018).

Menurut Hlihor dan Gavrilesco, (2012) secara umum dalam sistem manajemen lingkungan dalam pengaplikasian bioremediasi digunakan

mikroorganisme sebagai pereduksi polutan. Agen biologi dalam proses bioremediasi disebut bioremediator (Kurniawan dan Ekowati, 2016). Dalam proses bioremediasi mikroorganisme yang membawa materi genetik alami, memiliki kemampuan biokimia, dan juga mempunyai sifat fisiologis yang mampu berperan sebagai agen dalam remediasi polutan (Rahadi dkk., 2019), proses tersebut menggunakan sel atau metabolit berupa enzim yang berfungsi dalam mengelola lingkungan tercemar dengan cara biosorpsi yang terjadi melalui proses kompleksasi, kelasi, koordinasi, presipitasi, pertukaran ion, dan proses oksidatif reduktif (Wahyuni dkk., 2013)

2.9. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi

Dari sudut pandang lingkungan, bioremediasi tergantung pada berbagai interaksi antara tiga faktor: polutan, organisme, nutrisi, dan lingkungan. Interaksi faktor-faktor tersebut mempengaruhi biodegradabilitas, bioavailabilitas, dan persyaratan fisiologis. Menurut Singh dkk. (2018) parameter penting yang mempengaruhi proses biodegradasi:

1. Bioavailabilitas, yaitu polutan yang dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitar untuk mengubah atau ketersediaannya menjadi organisme yang mampu mendegradasi polutan tercemar.
2. Nutrisi, ketersediaan nutrisi mempengaruhi transformasi mikroba dan proses detoksifikasi kontaminan termasuk penghambatan proses aktivitas enzimatik organisme pengurai polutan. Selain itu, mikroba membutuhkan mineral seperti nitrogen, fosfat, dan kalium sebagai nutrisi untuk metabolisme sel yang efektif di lokasi yang tercemar. Pada lokasi yang tercemar, tingkat karbon organik sering kali tinggi karena kontaminan alami, nutrisi yang tersedia akan terdegradasi dengan cepat selama perkembangan mikroba. Kebutuhan nutrisi C:N (rasio karbon nitrogen) harus 10:1, dan C:P (rasio karbon-fosfor) harus 30:1 selama degradasi.
3. Kondisi lingkungan seperti pH, suhu, salinitas, tekanan, oksigen, aktivitas air. pH merupakan salah satu faktor lingkungan, pH optimal yang digunakan dalam biodegradasi yaitu 6,5-8,5. Selain itu oksigen juga berperan dalam

proses biodegradasi. Kelarutan molekul organik khususnya PAH melonjak oleh suhu yang dapat meningkatkan bioavailabilitas untuk mikroba. Kelembaban juga penting untuk semua proses yang terjadi di dalam sel untuk pengangkutan produk limbah, makanan, air, dan nutrisi, di dalam dan di luar sel mikroba. Ini mempengaruhi laju kontaminan yang dimetabolisme oleh mikroba karena mempengaruhi jumlah dan jenis konstituen terlarut yang tersedia dengan pH dan tekanan osmotik seperti pada sistem terestrial dan akuatik.

Adapun jenis-jenis bakteri pendegradasi logam berat dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis-jenis bakteri pendegradasi logam berat

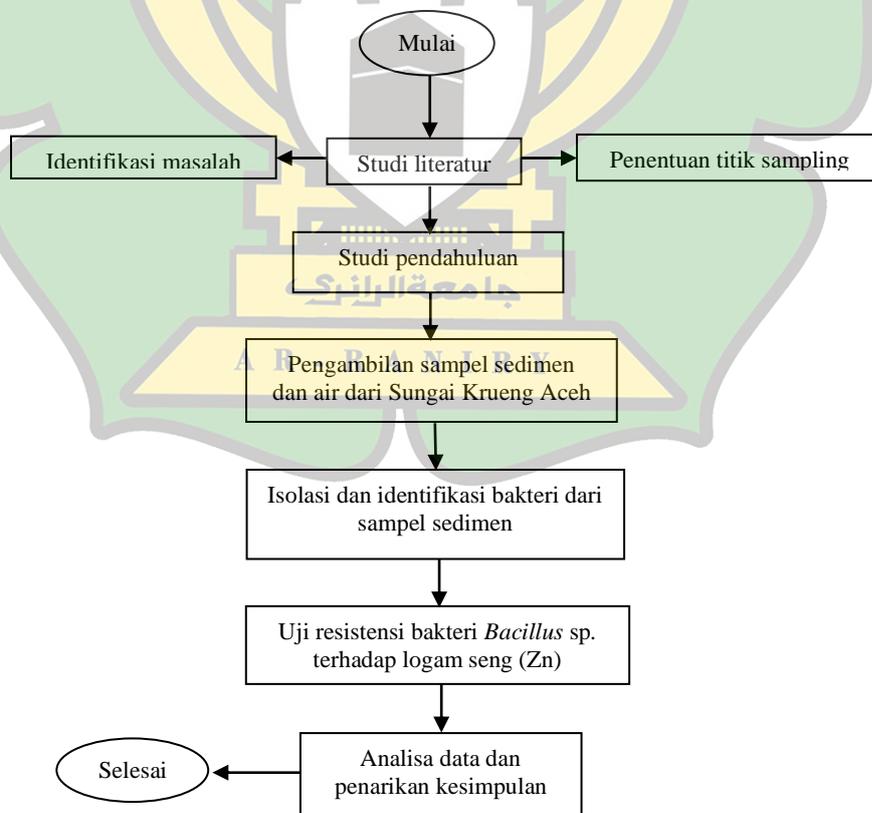
No.	Nama Bakteri	Logam Berat	Penulis
1.	<i>Bacillus sp</i>	Pb	Rahadi dkk. (2019)
2.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pb	Junopia, (2015)
3.	<i>Bacillus cereus</i> dan <i>Pseudomonas Putida</i> <i>Citrobacter sp</i> <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Rhizobium rhizogenes</i> ,	Fe, Cu, Zn, Pb, Cd dan Ag	Dalyla, (2016)
4.	<i>Rhizobium leguminosarum</i> , <i>Azotobacter vinelandii</i> dan <i>Nocardiopsis Dassenvillei</i>	Zn	El-barbary dan El-Badry, (2018)
5.	<i>E.Coli</i> , <i>K. pneumonia</i> dan <i>E. aerogen</i>	Zn	Pradesh dkk. (2017)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan umum pada penelitian ini digambarkan pada gambar 3.1, dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) melakukan studi pendahuluan dengan menggunakan sumber literatur seperti jurnal, buku, dan lain sebagainya, (2) mengidentifikasi masalah berdasarkan studi literatur terkait, (3) melakukan observasi lokasi titik sampling yang ditentukan dengan GPS *Coordinates*, (4) tahapan pengambilan sampel pada titik stasiun yang ditentukan, (5) tahapan pengisolasian bakteri dan pengidentifikasian karakteristik bakteri dari sampel sedimen Sungai Krueng Aceh, (6) tahapan pengujian resistensi bakteri terhadap logam seng (Zn) hingga menganalisis genus bakteri yang resisten terhadap logam Zn, (7) tahapan analisa data menggunakan statistik

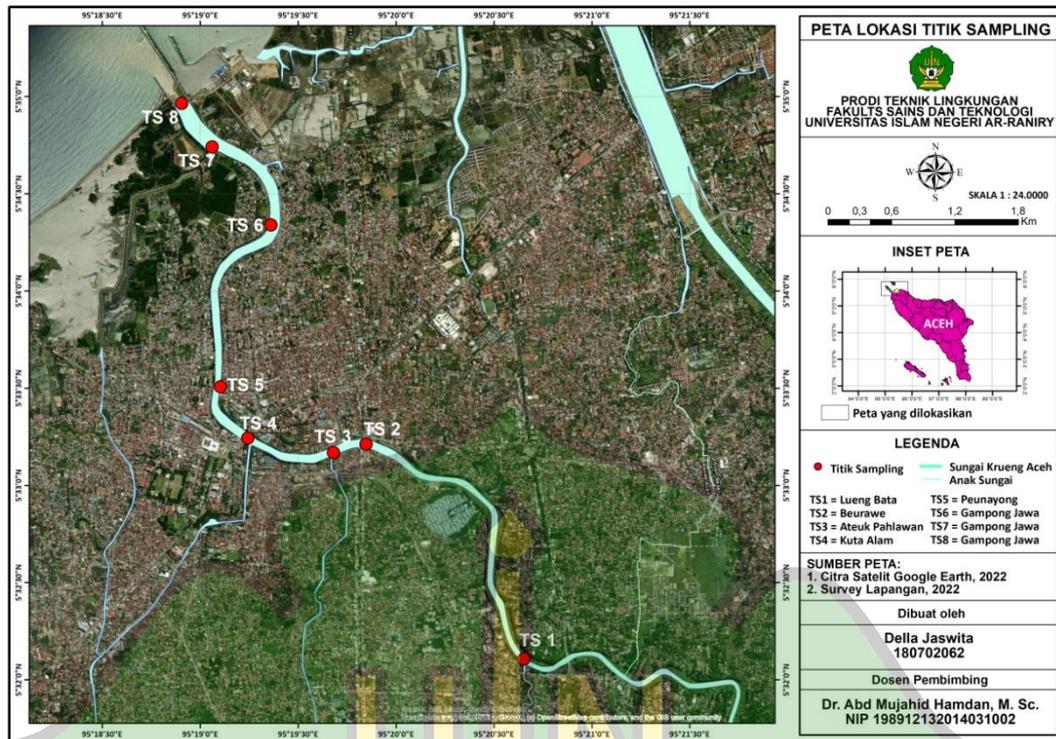


Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Titik Pengambilan Sampel

Pada tahap ini, peneliti melakukan observasi awal pada penentuan lokasi pengambilan sampel sedimen yang diambil di Sungai Krueng Aceh. Penentuan titik *sampling* menggunakan metode *purposive sampling* (Ayuningtyas, 2019). Lokasi pengambilan sampel terdiri atas delapan titik *sampling*. Titik *sampling* tersebut ditunjukkan pada peta dalam Gambar 3.2. Koordinat titik *sampling* sebagai berikut:

1. Titik 1 diambil di kawasan Lueng Bata Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}32'05.7''\text{N}$, $95^{\circ}20'39.6''\text{E}$. Titik lokasi ini merupakan setelah adanya anak sungai yang dapat mempengaruhi akumulasi air dan sedimen.
2. Titik 2 diambil di kawasan Beurawe, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'13.1''\text{N}$, $95^{\circ}19'49.8''\text{E}$. Lokasi ini merupakan kawasan padat penduduk dan memasuki area perkotaan.
3. Titik 3 diambil di kawasan Ateuk Pahlawan, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'09.7''\text{N}$, $95^{\circ}19'39.3''\text{E}$. Titik lokasi ini merupakan setelah adanya anak sungai.
4. Titik 4 diambil di kawasan Kuta Alam, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'15.3''\text{N}$, $95^{\circ}19'14.0''\text{E}$. Titik lokasi ini juga merupakan setelah adanya anak sungai.
5. Titik 5 diambil di kawasan Peunayong, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'38.2''\text{N}$, $95^{\circ}19'05.5''\text{E}$. Titik lokasi ini merupakan lokasi yang berdekatan dengan pasar dan kawasan yang padat penduduk.
6. Titik 6 diambil di kawasan Gampong Jawa, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}34'16.9''\text{N}$, $95^{\circ}19'21.5''\text{E}$. Pada lokasi ini banyak terdapat aktivitas perkapalan.
7. Titik 7 diambil di kawasan Gampong Jawa, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}34'47.9''\text{N}$, $95^{\circ}19'00.8''\text{E}$. Titik lokasi ini merupakan setelah adanya anak sungai.
8. Titik 8 diambil di kawasan Gampong Jawa (Muara Sungai Krueng Aceh), Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}34'59.9''\text{N}$, $95^{\circ}18'51.9''\text{E}$.



Gambar 3.2 Koordinat titik pengambilan sampel Sungai Krueng Aceh

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Mulai dari pengambilan sampel air untuk uji parameter fisik dan kimia air (pH, turbiditas, TDS, TSS, DO, COD) dan sampel sedimen untuk isolasi dan identifikasi bakteri sebagai agen bioremediasi dari Sungai krueng Aceh. Penelitian dilakukan dari bulan Februari 2022 hingga bulan April 2022.

3.4. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu: *Zinc sulfate heptahydrate* ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), larutan asam sulfat (H_2SO_4), larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) 3 %, larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), natrium klorida ($NaCl$) 0,9 %, aquades, alkohol 70 %, media *Natrium Agar* (NA), media *Natrium Broth* (NB), kristal violet, larutan lugol iodine, safranin, *urea broth*, cakram kosong, media SIM (*Sulphide Indole Motility*), SCA (*Simmon Citrate Agar*), TSIA (*Triple Sugar Iron*), malachite green.

3.5. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Variabel bebas pada penelitian ini adalah parameter fisik dan kimia air, dan zona resistensi (mm). Adapun variabel terikat pada penelitian ini adalah total koloni, isolat *Bacillus*, logam Zn dan konsentrasi logam Zn.

3.6. Prosedur Penelitian

3.6.1. Teknik Pengambilan Sampel

Pada tahap ini, peneliti melakukan observasi awal pada penentuan lokasi pengambilan sampel sedimen dan air Sungai Krueng Aceh. Penentuan lokasi titik sampling diambil menggunakan metode *purposive sampling* (Ayuningtyas, 2019). Sampel sedimen yang diambil dari sungai Krueng Aceh sebanyak 50 gram lumpur sedimen yang dimasukkan pada kantung wadah steril dan disimpan dalam kotak pendingin. Pengambilan sampel sedimen di dasar Sungai Krueng Aceh dilakukan dengan menggunakan alat *Sediment Grab*. Sampel air Sungai Krueng Aceh yang diambil sebanyak 1 liter dan dimasukkan kedalam botol steril. Pengambilan sampel air menggunakan *water sampler* horizontal (Hakim, 2020).



Gambar 3.3 a) *Sediment Grab* Sampler, b) *water sampler*

3.6.2. Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia Air Sungai

Pengukuran parameter fisik dan kimia air pada setiap titik sampling dilakukan secara eksitu di laboratorium multifungsi UIN Ar-Raniry. Pengukuran parameter fisik seperti TSS menggunakan alat gravimetri, kekeruhan diukur menggunakan alat turbidimeter. Pengukuran parameter kimia air meliputi pH air

yang diukur menggunakan pH meter. kandungan oksigen terlarut (DO) di ukur menggunakan DO meter, pengukuran parameter *chemical oxygen demand* (COD) menggunakan COD meter (Leong dkk., 2018 ; Suryani, 2019).

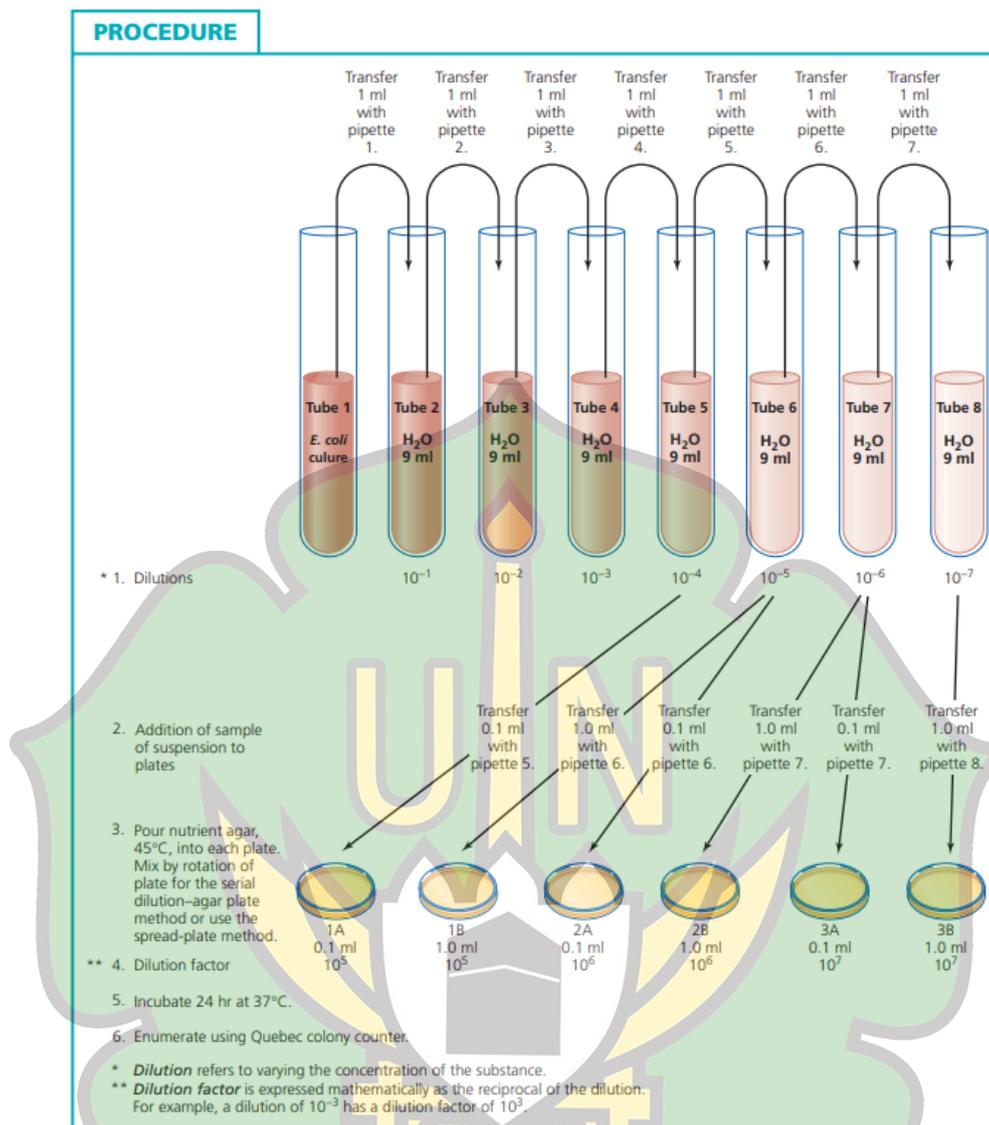
3.6.3. Sterilisasi Alat Uji dan Media

Sterilisasi alat dan media dibutuhkan untuk hasil identifikasi yang akurat pada kegiatan mikrobiologis. Pada Penelitian ini terdapat dua jenis sterilisasi yaitu sterilisasi kering (oven) dan sterilisasi basah (autoklaf). Adapun sterilisasi kering yaitu pada alat-alat kaca seperti cawan petri dan tabung reaksi yang terlebih dahulu dibungkus dengan kertas buram. Sterilisasi menggunakan autoklaf yaitu pada media yang akan digunakan seperti media NA yang sebelumnya sudah dihomogenkan menggunakan *hot plate*, lalu sterilisasikan ke dalam autoklaf pada suhu 121 °C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit (Tille, 2017). Sterilisasi alat uji dan media ini dilakukan dengan tujuan untuk mensterilkan media dari kontaminan yang dapat mengganggu hasil penelitian selanjutnya.

3.6.4. Isolasi dan Pemurnian Bakteri Sampel Sedimen

Proses isolasi bakteri pada sampel sedimen dilakukan dengan menimbang 1 g sampel tanah/lumpur yang diencerkan dengan 9 ml NaCl 0,9%. Kemudian diambil 1 ml dari sampel sedimen yang sudah diencerkan sebelumnya, lalu ditambahkan ke dalam 9 ml NaCl 0,9 % dengan pengulangan sampai pengenceran kelima (10^{-5}). 0,1 ml dari masing-masing pengenceran disebar pada media agar (Ishak dkk., 2011). Isolasi dan pemurnian bakteri dari sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan media NA murni. Kemudian diratakan menggunakan batang L (*spread plate*), lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C (Rahadi dkk., 2020). Perhitungan total koloni dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Jumlah sel per ml} = \text{jumlah koloni} \times \text{faktor pengenceran} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$



Gambar 3.4 Tahapan isolasi bakteri
 Sumber: Leong dkk., 2018

3.6.5. Identifikasi dan Karakteristik *Bacillus* sp.

Isolat bakteri dari sampel sedimen kemudian diidentifikasi berdasarkan karakterisasi morfologi. Proses identifikasi meliputi pengamatan makroskopik (yang meliputi bentuk koloni, bentuk tepian koloni, ukuran koloni, warna koloni, bentuk sel) dan mikroskopik (uji pewarnaan Gram) dan uji biokimia (Cappuchino dan Sherman, 2014; Leboffe dan Pierce, 2011), menggunakan acuan buku *Bergey's Manual of Determination Bacteriology* dan *Cowan and Steel's Manual for the Identification of Medical Bacteria 3rd Edition* (Ammar, 2021 Ajmal dkk., 2021).

3.6.4.1. Uji Pewarnaan Gram

Pewarnaan gram pada bakteri dilakukan dengan mengambil bakteri hasil isolasi sebanyak 1 ose pada kaca benda, kemudian ditetesi reagen kristal violet dan direaksikan selama 1-2 menit, kemudian dibilas dengan akuades. Selanjutnya ditetesi larutan iodium dan diamkan selama 1 menit kemudian cuci dengan akuades dan keringkan. Selanjutnya rendam dalam alkohol 95% selama 45 menit dan cuci. Terakhir preparat siap diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran 100× dan ditetesi minyak emersi. Uji pewarnaan Gram, hasil positif ditandai dengan adanya warna ungu pada bakteri dan negatif ditandai dengan adanya warna merah (Capuccino dan Sherman, 2014).

3.6.4.2. Uji Biokimia

Pengujian biokimia dilakukan berdasarkan (Capuccino dan Sherman, 2014).

1. Uji urease

Pada pengujian urease disiapkan media cair *urea broth* sebagai langkah utama. Bakteri yang sudah diisolasi pada media NA diambil menggunakan jarum ose yang sudah disterilkan, kemudian inkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Jika hasilnya positif akan ditandai dengan perubahan warna pada media dari merah menjadi merah muda.

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

Pada uji ini diambil isolat bakteri pada media NA menggunakan jarum ose lalu goreskan pada permukaan media miring, selanjutnya media TSIA ditusuk menggunakan jarum ose secara lurus tepat ditengah media. Kemudian media diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Hasil positif pada uji ini ditandai dengan adanya perubahan warna pada media menjadi kuning dan terbentuknya gas H₂S sehingga media terangkat ke atas dan media menjadi warna hitam.

3. Uji SCA (*Simmon Citrate Agar*)

Bakteri yang telah diisolasi diambil menggunakan jarum ose yang telah steril dan kemudian digoreskan pada permukaan lereng media sitrat. Selanjutnya

diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37 °C. Bila hasilnya positif maka akan berubah menjadi warna biru.

4. Uji SIM (*Sulfide Indole Motility*)

Disiapkan media SIM, lalu diinokulasikan media SIM dengan isolat bakteri menggunakan ose. Media diinkubasi selama 1 kali 24 jam pada suhu 37 °C. Kemudian ditambahkan larutan kovac dan dikocok secara perlahan hingga terbentuk cincin merah. Cincin merah mengindikasikan bahwa hasil uji SIM positif. Pengujian SIM ini bertujuan untuk mengamati *capability* (kemampuan) bakteri untuk mendegradasi asam amino triptofan hingga dihasilkan indol.

5. Uji katalase

Pada uji ini diambil isolat bakteri dengan ose yang sudah steril, kemudian diusapkan pada gelas objek dan diteteskan H₂O₂ 3% menggunakan *wire loop* (ose) yang sudah disterilkan lagi. Hasil positif pada uji ditunjukkan dengan terbentuknya gelembung gas oksigen sebagai hasil degradasi H₂O₂ oleh enzim katalase.

6. Uji Endospora

Isolat diambil sebanyak satu ose dan digoreskan pada permukaan preparat steril kemudian dilakukan fiksasi. Preparat yang telah diberi bakteri tersebut lalu dibungkus dengan menggunakan kertas saring kemudian diletakkan diatas air mendidih, selanjutnya ditetesi larutan pewarna malachite green dan didiamkan selama lebih kurang 10 menit. Preparat selanjutnya di cuci dengan air mengalir selama 30 detik. Setelah dikeringanginkan selanjutnya ditetesi dengan larutan safranin dan didiamkan selama 1 menit kemudian bilas dengan air mengalir dan dikeringanginkan. preparat diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran kuat. Sebagai indikasi terdapatnya endospora akan berwarna hijau, dan bagian sel yang tidak mengandung endospora akan berwarna merah terang.

3.6.6. Pembuatan Larutan Stok Logam ZnSO₄·7H₂O

Konsentrasi berbeda disiapkan untuk melarutkan ZnSO₄·7H₂O yang diencerkan dengan aquades yaitu dengan konsentrasi 200 mg/l, 250 mg/l, 300 mg/l (Escamilla-Rodríguez dkk., 2021). Preparasi larutan logam berat dilakukan dengan melarutkan 2,92 gram ZnSO₄·7H₂O pada 1000 ml labu ukur steril dan

didapatkan larutan stok $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 1000 mg/l (Verdian, 2015), dan untuk pengenceran larutan stok logam dihitung dengan rumus:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan keterangan rumus diatas konsentrasi awal logam (C1), volume awal logam (V1), konsentrasi akhir logam (C2), volume akhir logam (V2).

3.6.7. Peremajaan Isolat

Isolat *Bacillus* yang digunakan merupakan isolat yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh. Sebanyak 3 isolat *Bacillus* diremajakan dengan perlakuan yaitu diambil satu ose dari *culture stock* (media agar miring) digoreskan pada media *Nutrient Agar* (NA). Kemudian isolat diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Berdasarkan Vebrian (2015) keberhasilan subkultur ditandai dengan adanya koloni yang tumbuh pada media NA.

3.6.8. Determinasi Resistensi *Bacillus sp* Terhadap Logam Zn

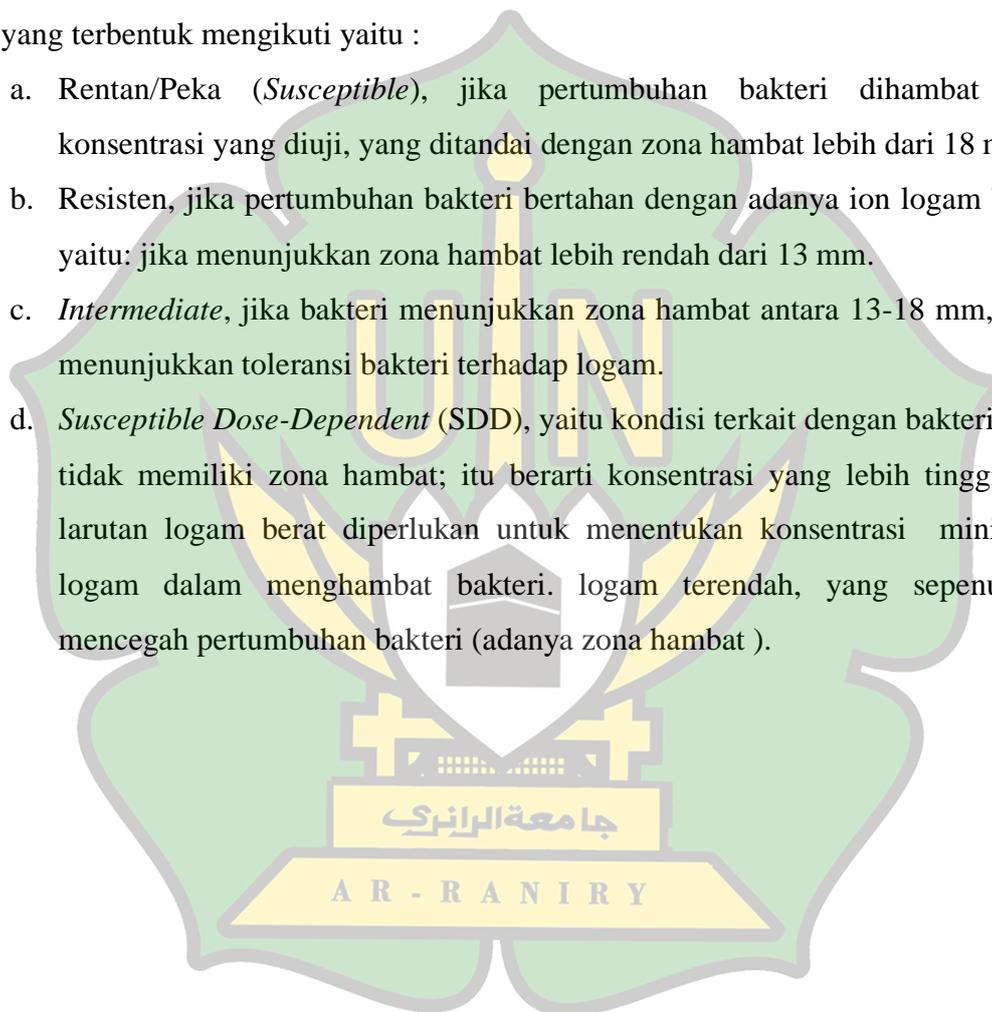
Menurut Gupta dkk. (2014), preparasi larutan logam berat dengan konsentrasi 1 % dengan modifikasi. Untuk preparasi konsentrasi logam berat $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 % larutan logam berat dibuat dengan menambahkan 1 gram logam $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam 100 ml aquadest steril. Persiapkan 1 liter media NA yang telah disterilkan. Untuk menguji resistensi *Bacillus* terhadap logam Zn dilakukan dengan metode difusi Hudzicki (2012), dengan tahapan sebagai berikut:

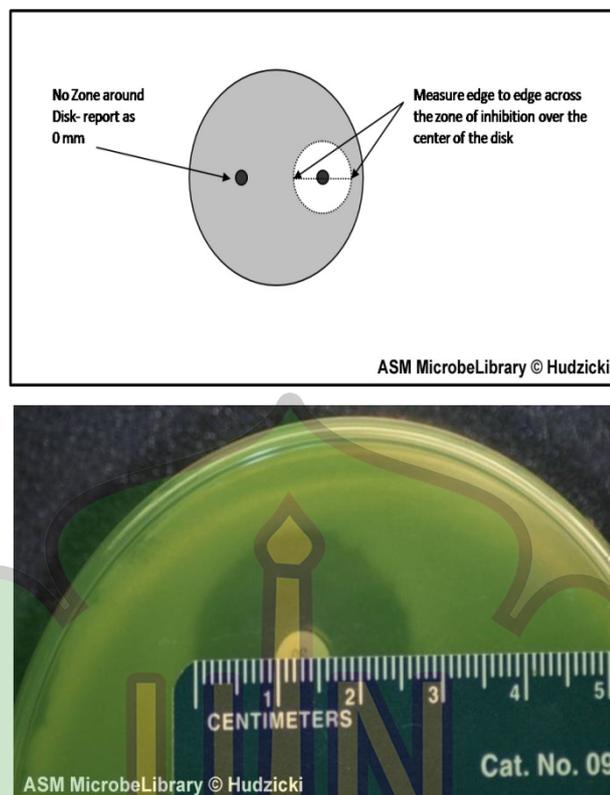
1. Pembuatan suspensi kultur kerja masing-masing isolat *Bacillus* sejumlah 10^8 CFU/ml dilakukan dengan menambahkan isolat sebanyak 3-5 ose ke dalam 9 ml larutan fisiologis NaCl 0,9 %, kemudian divorteks supaya homogen dan disetarakan dengan larutan McFarland 0,5.
2. Disiapkan cawan petri yang sudah berisi media NA.
3. Dichelupkan *cotton bud* steril kedalam suspensi bakteri dan kemudian digoreskan pada media NA yang sudah mengeras. Di diamkan selama 15 menit.
4. Diletakkan cakram kosong sebanyak empat titik pada setiap cawan.

5. Dengan menggunakan mikropipet di teteskan 100 μl larutan logam $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ di atas cakram kosong.
6. Diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C. Diamati zona bening yang terbentuk setelah 24 jam.
7. Zona bening diukur menggunakan jangka sorong.

Berdasarkan Cockerill, (2013) semakin besar diameter zona bening, maka semakin kecil tingkat resistensi bakteri terhadap logam Zn. Kriteria zona bening yang terbentuk mengikuti yaitu :

- a. Rentan/Peka (*Susceptible*), jika pertumbuhan bakteri dihambat oleh konsentrasi yang diuji, yang ditandai dengan zona hambat lebih dari 18 mm.
- b. Resistensi, jika pertumbuhan bakteri bertahan dengan adanya ion logam berat; yaitu: jika menunjukkan zona hambat lebih rendah dari 13 mm.
- c. *Intermediate*, jika bakteri menunjukkan zona hambat antara 13-18 mm, yang menunjukkan toleransi bakteri terhadap logam.
- d. *Susceptible Dose-Dependent* (SDD), yaitu kondisi terkait dengan bakteri yang tidak memiliki zona hambat; itu berarti konsentrasi yang lebih tinggi dari larutan logam berat diperlukan untuk menentukan konsentrasi minimum logam dalam menghambat bakteri. Logam terendah, yang sepenuhnya mencegah pertumbuhan bakteri (adanya zona hambat).





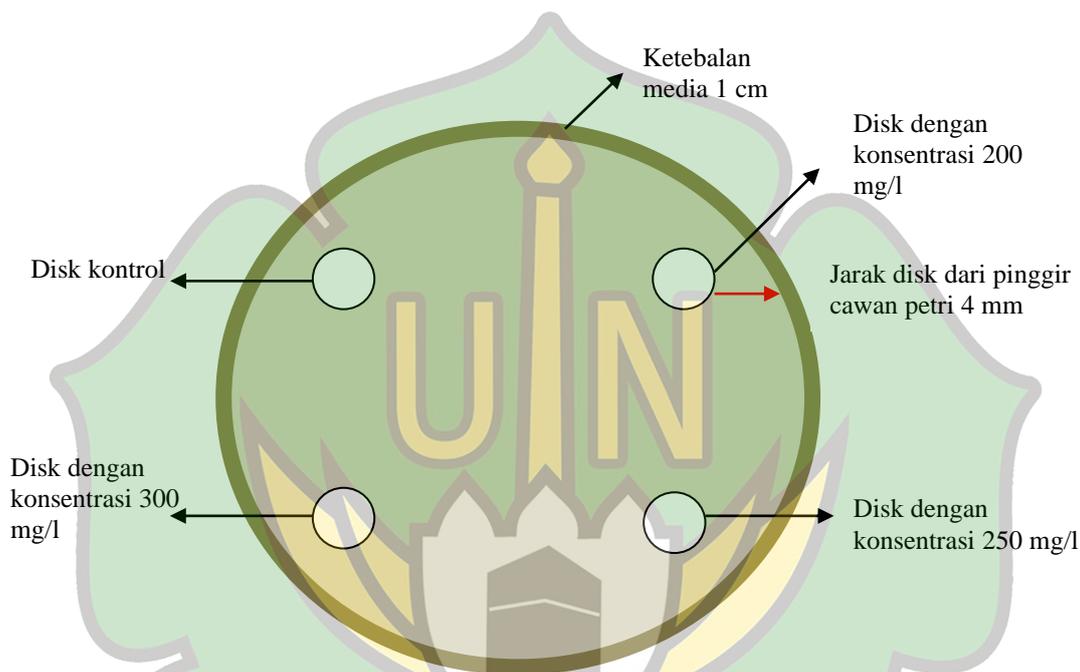
Gambar.3.4 Zona Bening
Sumber: (Hudzicki, 2012)

3.6.9. Resistensi *Bacillus* sp. terhadap Logam Seng (Zn)

Untuk prosedur resistensi logam menggunakan metode difusi agar (Escamilla-Rodríguez dkk., 2021) dengan modifikasi. Salah satu isolat *Bacillus* sp. yang menunjukkan kemampuan resistensi yang baik pada prosedur determinasi resistensi akan diambil untuk digunakan pada prosedur pengujian toksisitas logam. Larutan logam berat $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dibuat dengan konsentrasi 150 mg/l, 175 mg/l, 200 mg/l, 250 mg/l dan 300 mg/l.

Kultur bakteri diremajakan pada media NA dan diinkubasi selama 18-24 jam dengan 37 °C. Setelah inkubasi dilanjutkan dengan pembuatan suspensi bakteri sebanyak 10^8 CFU/ml (d disesuaikan dengan larutan 0,5 McFarland). Celupkan *cotton bud* steril ke dalam tabung inokulum, dan sebarkan merata pada media *Natrium Agar* (NA) dan keringkan selama 15 menit. Kemudian teteskan larutan logam dengan konsentrasi 150 mg/l sebanyak 70 μ l ke atas kertas cakram (*blank disk*), dan letakkan pada media NA, dan diinkubasi dengan cara membalikkan permukaan petri menghadap ke bawah, dimasukkan pada inkubator

dengan suhu 37 °C selama 18-24 jam. Hal yang sama dilakukan dengan konsentrasi 175, 200, 250 dan 300 mg/l. Dilakukan sebanyak 6 ulangan. Setelah inkubasi, ukuran zona hambat diukur dengan menggunakan jangka sorong. Kriteria zona yang terbentuk mengikuti prosedur sebelumnya. Pada Gambar 3.5 menunjukkan desain uji resistensi logam dengan menggunakan metode difusi agar.



Gambar.3.5 Desain uji resistensi logam dengan menggunakan metode difusi agar

3.7. Analisa Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS 2.0 untuk melihat apakah terdapat hubungan antara parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni menggunakan analisis regresi linear sederhana sedangkan untuk melihat apakah distribusi data normal atau tidak pada perlakuan uji resistensi logam seng terhadap *Bacillus* sp. dilakukan secara triplikate. Adanya perbedaan diantara perlakuan akan di analisis dengan uji ANOVA (*Analysis of Variance*). *Analysis of Variance* dan pemisahan rata-rata dilakukan dengan uji jarak berganda range test ($p < 0.05$).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

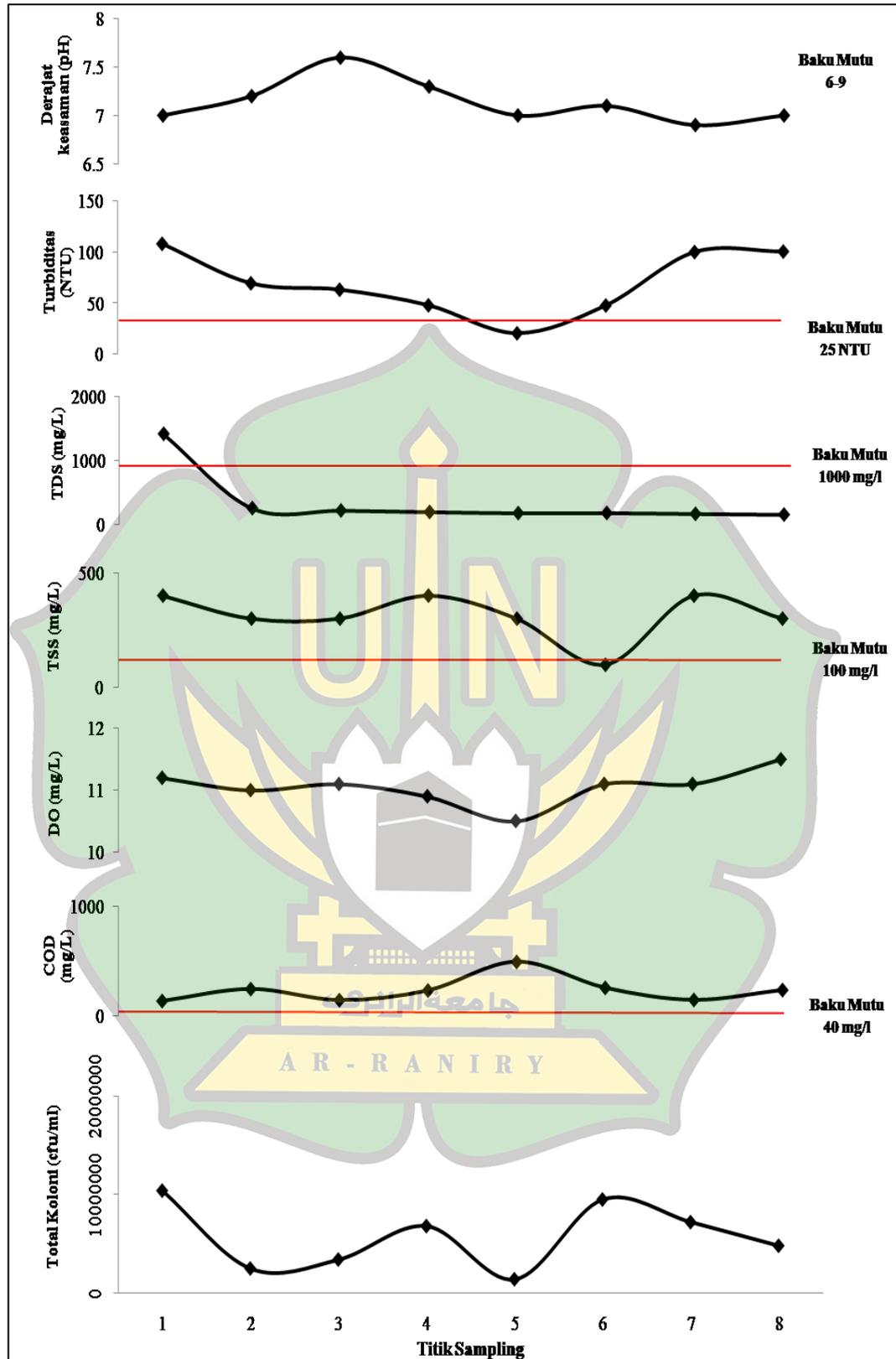
4.1. Hasil

4.1.1. Pengaruh Parameter Fisik dan Kimia Air terhadap Total Koloni yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Tabel 4.1 menunjukkan nilai pengukuran parameter dari parameter derajat keasaman (pH) air sungai Krueng Aceh berkisar antara 6,9-7,6 dan paling tinggi berada pada titik 3, hasil pengukuran turbiditas yang didapat antara 20,7-107,9 *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) yang paling tinggi berada di titik 1, zat padat terlarut (TDS) dengan nilai konsentrasi yang didapat antara 158-1413 mg/l paling tinggi berada pada titik 1, total padatan tersuspensi (TSS) dengan hasil pengukuran berkisar antara 100-400 mg/l dan konsentrasi paling tinggi terdapat pada titik 1, 4 dan 7, kadar oksigen terlarut DO (*Dissolved Oxygen*) hasil pengukuran yang didapat berkisar antara 10,5-11,5 mg/l, dan kadar oksigen yang dibutuhkan atau COD (*Chemical Oxygen Demand*) dengan konsentrasi yang didapat antara 140-493 mg/l dan konsentrasi paling tinggi terdapat pada titik 5, dan total koloni yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh pada masing-masing titik.

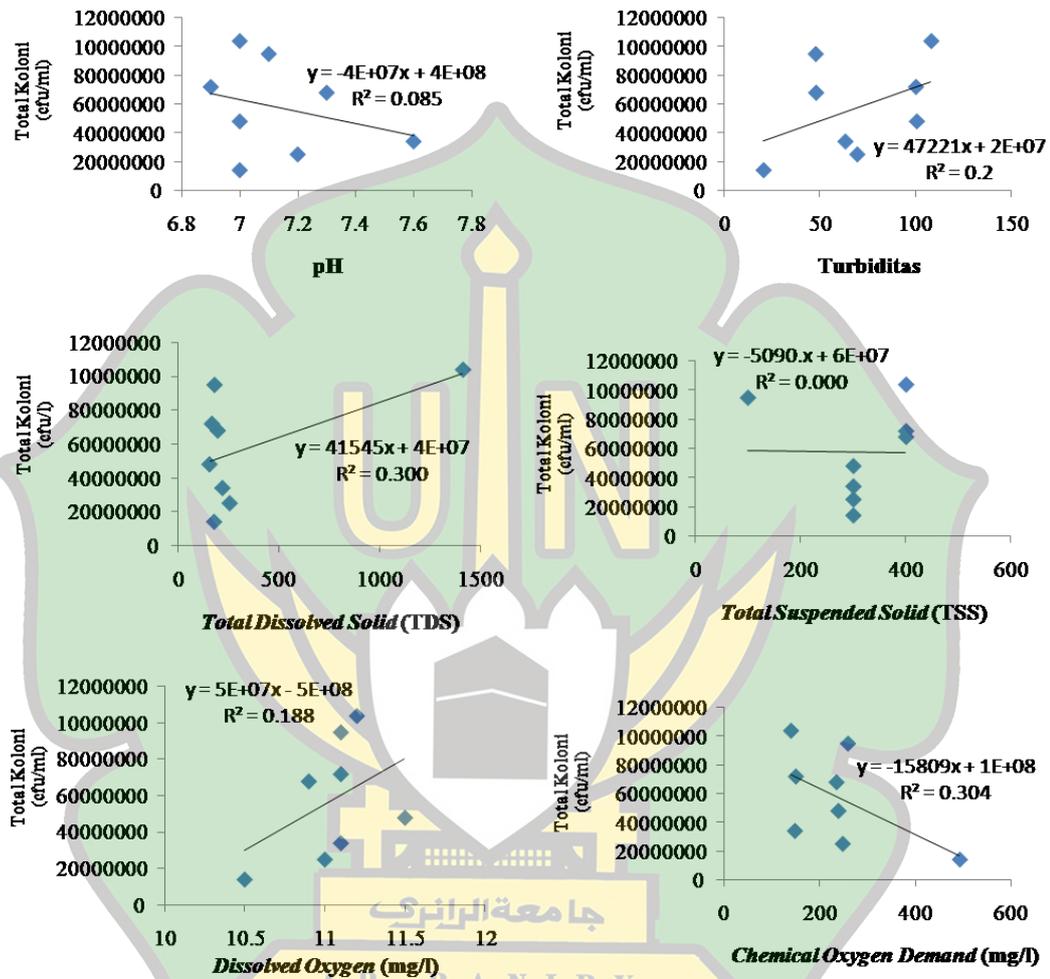
Tabel 4.1 Parameter fisik, kimia air dan total koloni bakteri dari Sungai Krueng Aceh

Parameter	Titik Sampel								Baku Mutu (PP no.22 Thn 2021)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ph	7,0	7,2	7,6	7,3	7,0	7,1	6,9	7,0	6-9
Turbiditas (NTU)	107,9	69,4	63,2	48	20,7	47,8	99,9	100,4	25
TDS (mg/l)	1413	258	222	199	181	183	170	158	1000
TSS(mg/l)	400	300	300	400	300	100	400	300	100
DO (mg/l)	11,2	11,0	11,1	10,9	10,5	11,1	11,1	11,5	3
COD (mg/l)	140	248	148	235	493	259	150	239	40
Total Koloni (CFU/ml)	$10,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$	$6,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$9,5 \times 10^6$	$7,2 \times 10^6$	$4,8 \times 10^6$	



Gambar 4.1 Pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) menggunakan metode Regresi Linear Sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.2 didapatkan tingkat korelasi antara parameter fisik dan kimia terhadap total koloni yang didapat dari sedimen sungai Krueng Aceh.

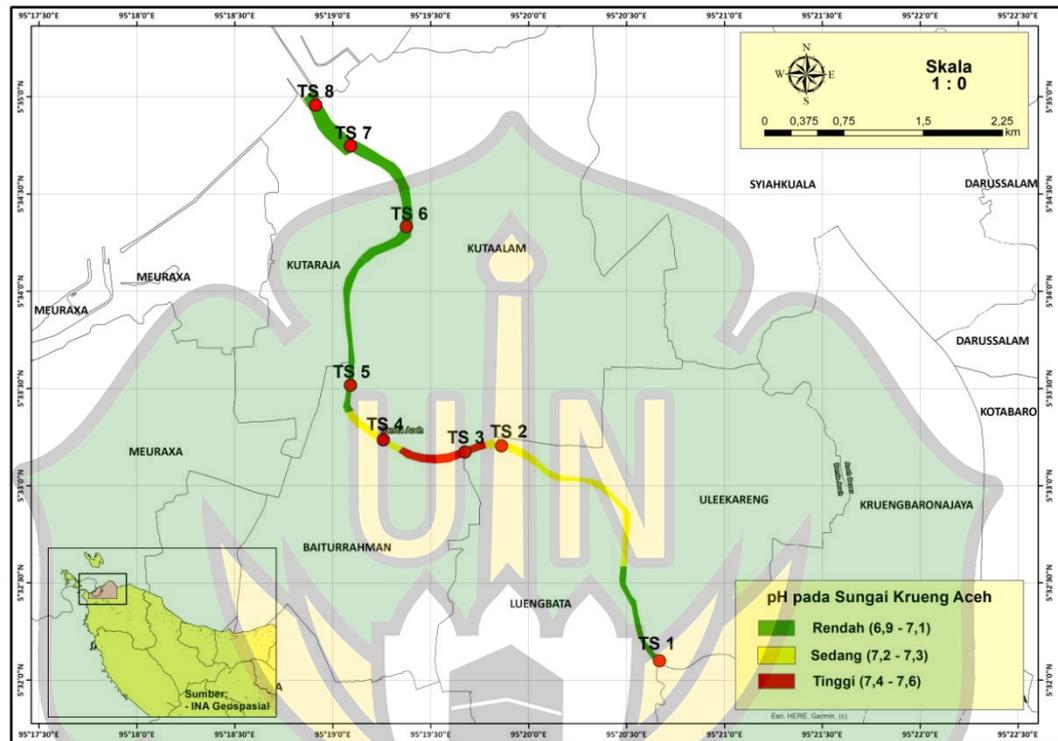


Gambar 4.2 Korelasi parameter fisik dan kimia air terhadap total koloni

Berdasarkan hasil interpolasi dengan menggunakan metode *Kriging* untuk mengetahui peta sebaran, *software* yang digunakan adalah ArcGis 10.8, adapun data yang diinput yaitu koordinat titik sampling dan data hasil pengukuran parameter fisik dan kimia air. Data tersebut disajikan dalam bentuk peta.

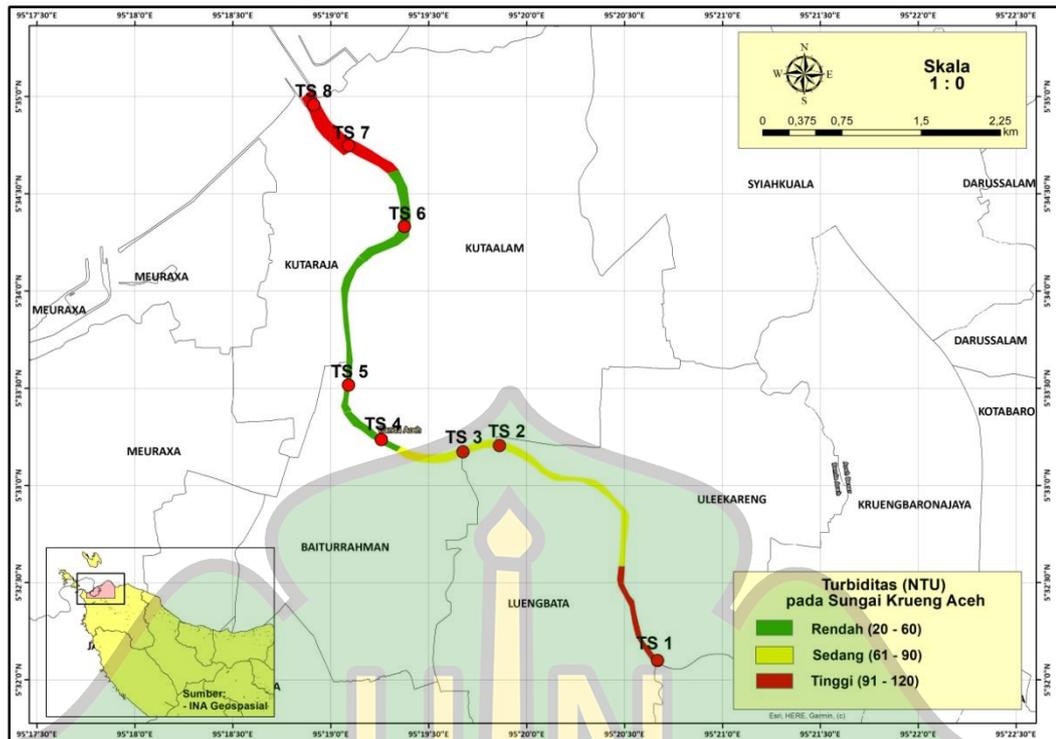
Nilai derajat keasaman (pH) pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.3, dengan *range* 7,4-7,6 yang termasuk daerah tertinggi dari nilai pH atau zona merah, *range* 7,2-7,3 merupakan daerah dengan nilai pH sedang atau

zona kuning, *range* 6,9-7,1 merupakan daerah dengan nilai pH terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 3. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 2 dan 4. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 1, 5, 6, 7, 8.



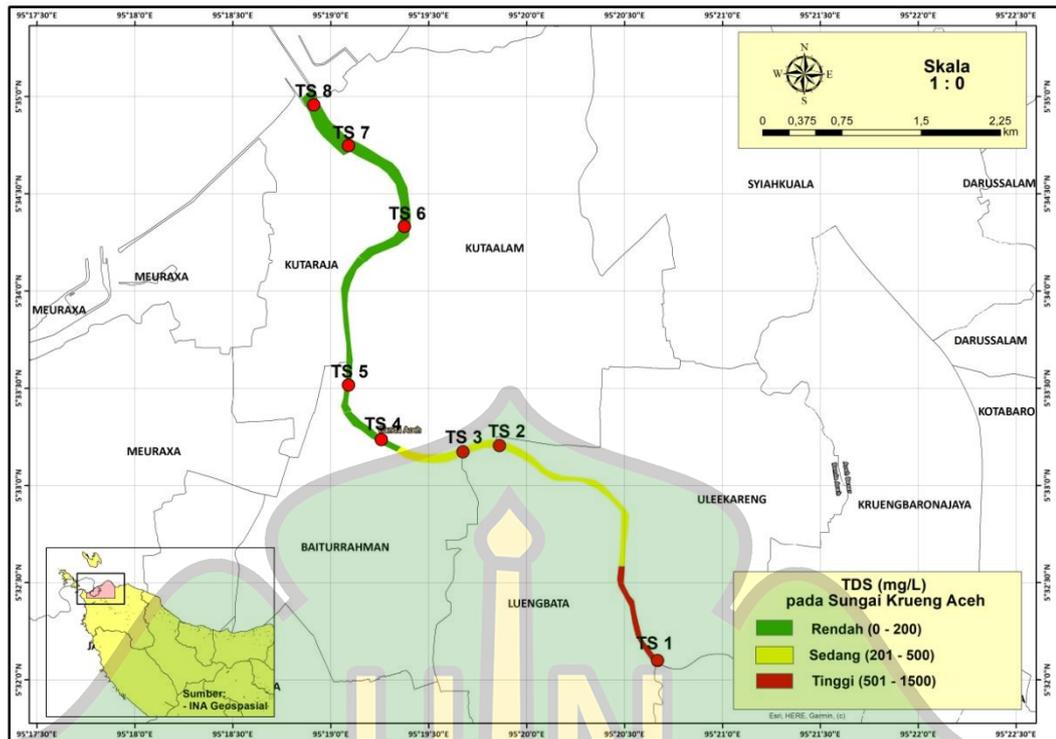
Gambar 4.3 Peta distribusi nilai pH pada sungai Krueng Aceh

Nilai kekeruhan pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.4, dengan *range* 91-120 NTU yang termasuk daerah tertinggi dari nilai turbiditas atau zona merah, *range* 61-90 NTU merupakan daerah dengan nilai turbiditas sedang atau zona kuning, *range* 20-60 NTU merupakan daerah dengan nilai turbiditas terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 1, 7, 8. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 2 dan 3. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 4, 5, 6.



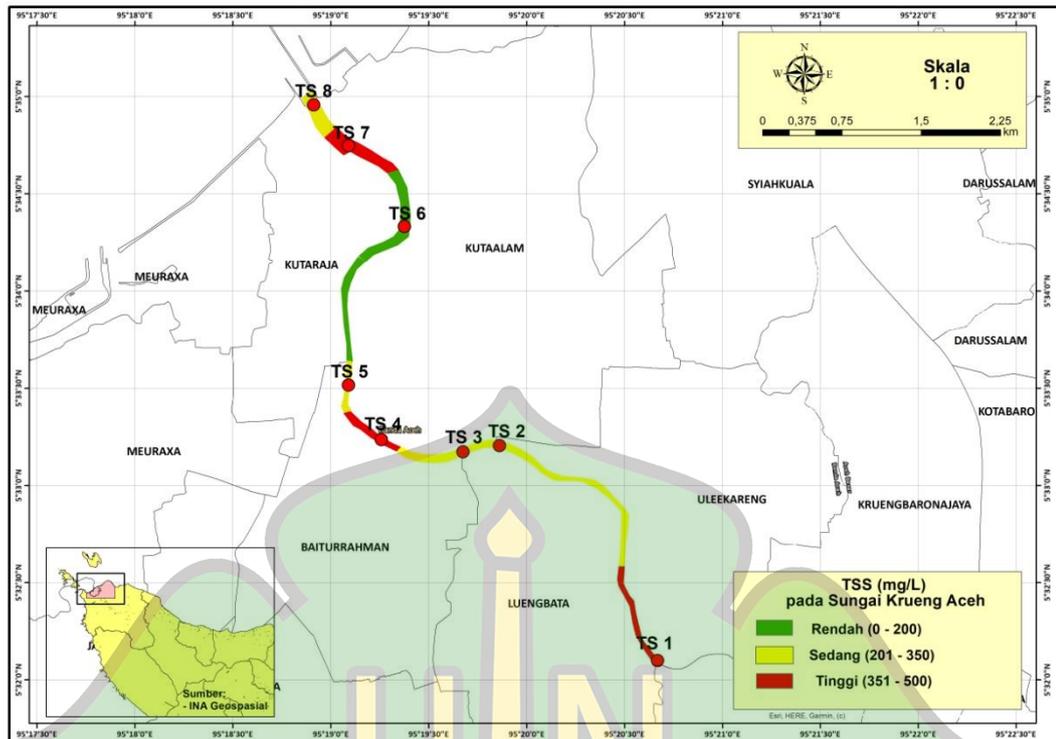
Gambar 4.4 Peta distribusi nilai kekeruhan pada sungai Krueng Aceh

Nilai *Total Dissolved Solid* (TDS) pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.5, dengan *range* 0-200 mg/l yang termasuk daerah tertinggi dari nilai TDS atau zona merah, *range* 201-500 mg/l merupakan daerah dengan nilai TDS sedang atau zona kuning, *range* 501-1500 mg/l merupakan daerah dengan nilai TDS terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 1. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 2 dan 3. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 4, 5, 6, 7, 8.



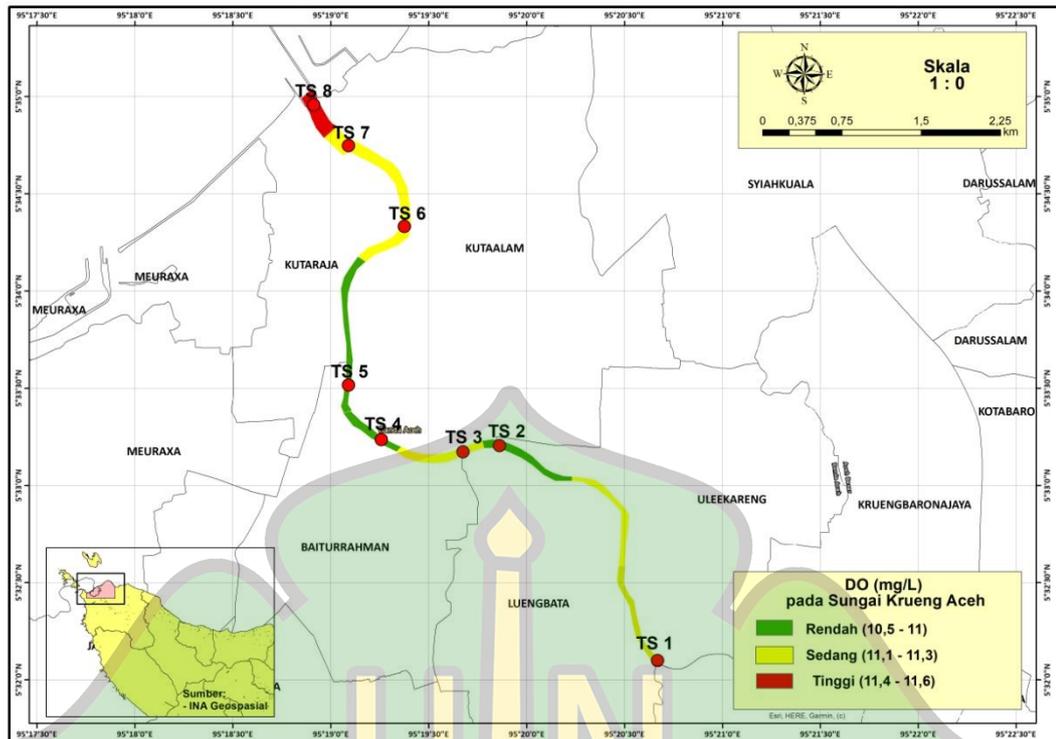
Gambar 4.5 Peta distribusi nilai TDS pada sungai Krueng Aceh

Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.6, dengan *range* 0-200 mg/l yang termasuk daerah tertinggi dari nilai TSS atau zona merah, *range* 201-350 mg/l merupakan daerah dengan nilai TSS sedang atau zona kuning, *range* 351-500 mg/l merupakan daerah dengan nilai TSS terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 1, 7, 8. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 2 dan 3. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 4, 5, 6.



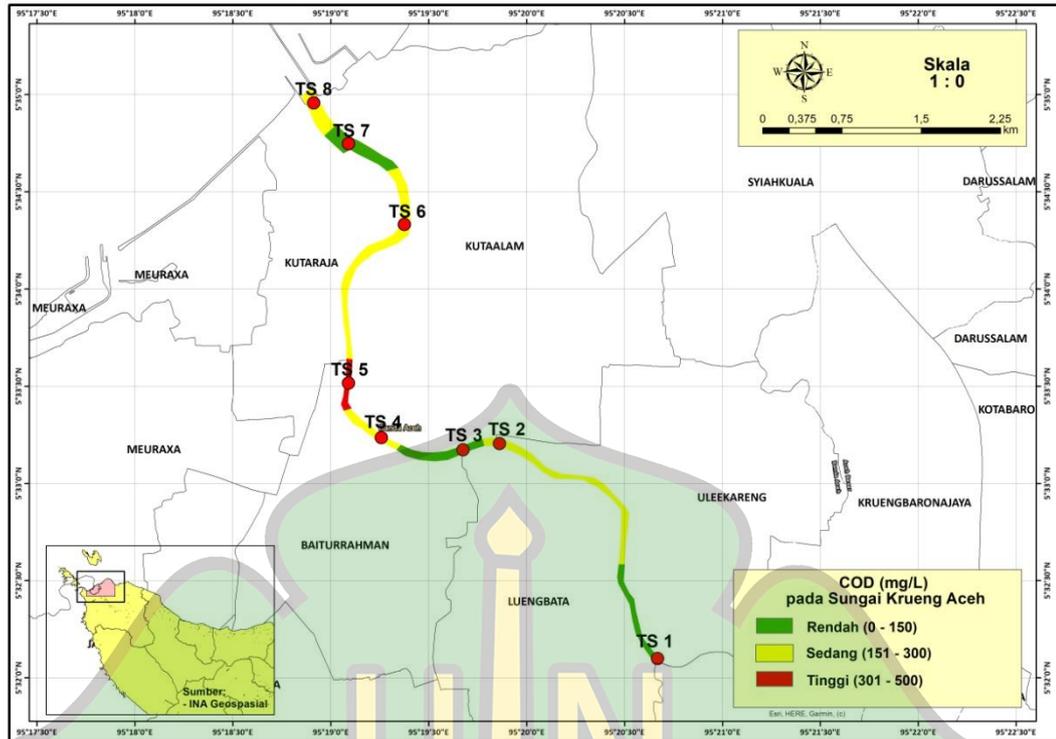
Gambar 4.6 Peta distribusi konsentrasi TSS pada sungai Krueng Aceh

Nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.7, dengan *range* 10,5-11 mg/l yang termasuk daerah tertinggi dari nilai DO atau zona merah, *range* 11,1-11,3 mg/l merupakan daerah dengan nilai DO sedang atau zona kuning, *range* 11,4-11,6 mg/l merupakan daerah dengan nilai DO terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 8. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 1, 3, 6, 7. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 2, 4, 5.



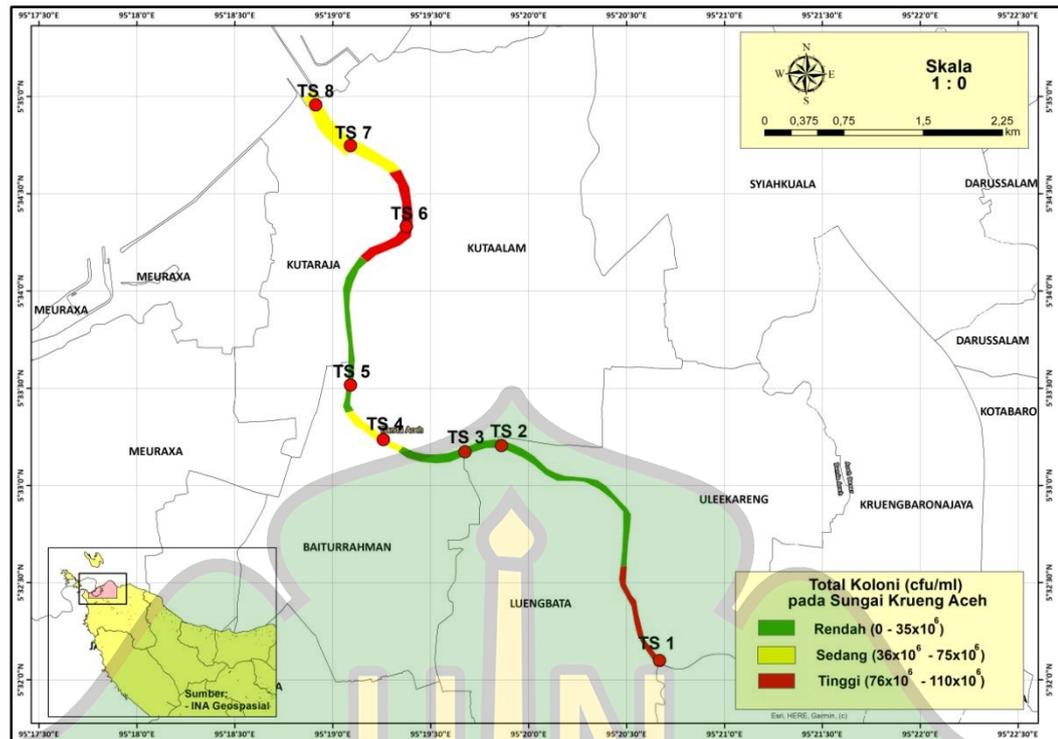
Gambar 4.7 Peta distribusi nilai DO pada sungai Krueng Aceh

Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.8, dengan *range* 0-150 mg/l yang termasuk daerah tertinggi dari nilai COD atau zona merah, *range* 151-300 mg/l merupakan daerah dengan nilai COD sedang atau zona kuning, *range* 301-500 mg/l merupakan daerah dengan nilai COD terendah atau zona hijau. Adapun lokasi *sampling* yang termasuk zona merah yaitu titik 5. Lokasi *sampling* yang termasuk zona kuning yaitu titik *sampling* 2, 4, 6, 8. Lokasi *sampling* yang termasuk zona hijau adalah titik *sampling* 1, 3, 7.



Gambar 4.8 Peta distribusi nilai COD pada sungai Krueng Aceh

Data sebaran total koloni pada sedimen sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.10, dengan *range* $0-25 \times 10^6$ termasuk dengan kelimpahan koloni terendah, *range* $36 \times 10^6 - 75 \times 10^6$ merupakan daerah dengan total koloni sedang, *range* $76 \times 10^6 - 110 \times 10^6$ merupakan zona dengan total koloni tertinggi.



Gambar 4.10 Peta distribusi total koloni bakteri pada sungai krueng aceh

4.1.2. Karakteristik *Bacillus* sp. dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Hasil identifikasi koloni tunggal pada isolat yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh didapati sebanyak 11 isolat yang teridentifikasi *Bacillus* sp. yang tersebar dari titik satu hingga titik delapan dengan karakteristik yang berbeda yang diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Berikut Tabel 4.2 hasil identifikasi makroskopis dan mikroskopis yang ditandai dengan kode isolat BSA sampai dengan BSH yang merupakan kode dari titik pengambilan sampel dari titik satu hingga titik delapan, sedangkan angka 1 merupakan ulangan untuk setiap perlakuan pada bakteri yang diisolasi.

Tabel 4.2 Hasil identifikasi makroskopis dan mikroskopis pada isolat yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh

No	Kode Isolat	Koloni Bakteri					Warna Gram	Bentuk Sel	Fermentasi karbohidrat	Katalase	Uji SCA	Uji Mortilitas (SIM)	Uji Urease	Uji Endospora	Genus
		Bentuk	Permukaan	Tepian	Warna	Tekstur									
1	BSA 1	Bulat	Cembung	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	+	-	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
2	BSA 3	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Laktosa/Sukrosa	+	+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
3	BSA 6	Bulat	Cembung	Bulat	Kream putih	Kasar	+	Batang	Glukosa	+	-	-	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
4	BSA 7	Tidak beraturan	Cembung	Berombak	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	-	-	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
5	BSA 8	Tidak beraturan	Cembung	Berombak	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
6	BSB 1	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	-	+	-	+	<i>Bacillus</i> sp.
7	BSD 2	Tidak beraturan	Cembung	Berombak	Kream putih	Halus	+	Batang	Laktosa/Sukrosa	+	+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
8	BSF 1	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	-	+	-	+	<i>Bacillus</i> sp.
9	BSF 2	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	+	-	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
10	BSG 1	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
11	BSH 1	Bulat	Rata	Bulat	Kream putih	Halus	+	Batang	Glukosa	+	-	-	-	+	<i>Bacillus</i> sp.

Note: Sumber rujukan karakteristik menggunakan *Bergey's Manual of Determination Bacteriology* dan *Cowan and Steel's Manual for the Identification of Medical Bacteria 3rd Edition*; Puspita dkk., 2017; Karunia dkk., 2021; Purwaningsih dan Wulandari, 2021; Ammar, 2021; Ajmal dkk., 2021.

4.1.3. Resistensi *Bacillus* sp. terhadap Seng

Dari hasil identifikasi, isolat *Bacillus* sp. mendominasi isolat paling banyak tumbuh dari kedelapan titik yang diisolasi dan paling banyak terdapat pada titik 1. Isolat yang di *screening* untuk diuji resistensi dipilih berdasarkan morfologi yang berbeda diantaranya isolat BSA 1, BSA 3, BSA 7 yang diuji dengan konsentrasi logam seng 1 % .

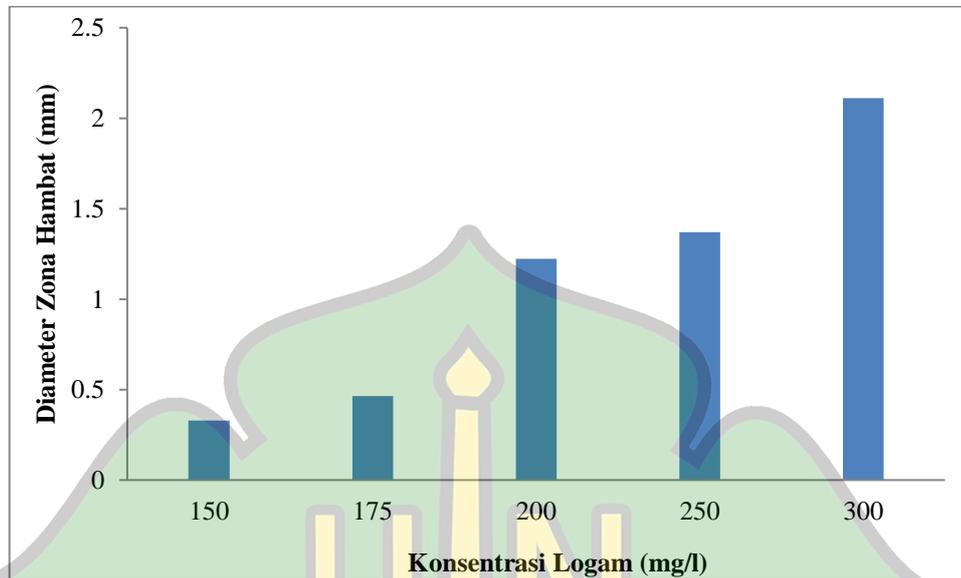
Gambar 4.10 menunjukkan bahwa ketiga isolat tersebut mempunyai kemampuan resisten terhadap logam seng pada konsentrasi 1% dikarenakan zona hambat yang terbentuk untuk masing-masing isolat berdiameter rata-rata BSA 1 (13,22 mm), BSA 3 (9,23 mm), BSA 7 (4,93 mm) dan sudah termasuk diameter kertas cakram. Menurut Cockerill, (2013) kriteria zona hambat yang resisten terhadap logam berat yaitu zona hambat yang terbentuk berdiameter dibawah 13 mm. Pada penelitian ini isolat yang akan digunakan untuk uji resistensi pada perlakuan variasi konsentrasi logam seng (Zn) yaitu *Bacillus* sp. kode BSA 7 yang memiliki diameter zona hambat paling kecil.



Gambar 4.10 Diameter zona hambat yang terbentuk pada isolat *Bacillus* sp.

Pengujian isolat *Bacillus* sp. dengan kode BSA 7 menunjukkan bahwa isolat tersebut memiliki kemampuan pertumbuhan yang sangat baik pada media yang mengandung logam seng dengan konsentrasi 150 mg/l, 175 mg/l, 200 mg/l, 250 mg/l, 300 mg/l. yang ditandai dengan terbentuknya zona hambat pada setiap perlakuan konsentrasi dengan masa inkubasi 24 jam. Tujuan dilakukannya pengujian ini untuk menganalisis potensi bioremediasi oleh *Bacillus* sp. terhadap logam Zn.

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa adanya variasi ukuran diameter zona hambat yang terbentuk dari setiap konsentrasi logam seng.



Gambar 4.11 Diagram diameter zona hambat

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengaruh Parameter Fisik dan Kimia Air terhadap Total Koloni yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil analisis nilai yang diukur dari setiap parameter berdasarkan titik sampling yang mempunyai korelasi terhadap total koloni yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh di setiap titik sampling dan menunjukkan titik yang mengalami rata-rata nilai parameter paling tinggi yaitu di titik satu.

Bakteri sebagai dekomposer bahan-bahan organik sangat berperan aktif untuk menyediakan zat-zat hara di dasar perairan seperti bahan-bahan organik sedimen yang mengendap di dasar perairan. Oleh sebab itu total bakteri di sebuah perairan dasar terutama dalam menyediakan unsur hara dapat digunakan sebagai indikator kesuburan perairan (Zulistiana dkk., 2016) dan juga sebagai bioindikator dalam menangani pencemaran logam berat di perairan.

Salah satu faktor penting dalam pertumbuhan bakteri adalah nilai pH. Bakteri memerlukan suatu pH optimum (6,5-7,5) untuk tumbuh optimal (Suriani dkk., 2013), Nilai pH minimum dan maksimum untuk pertumbuhan kebanyakan

spesies bakteri adalah 4 dan 9. Pengukuran derajat keasaman (pH) air sungai Krueng Aceh dari titik sampling satu hingga titik sampling kedelapan diperoleh nilai antara 6,9-7,6. Nilai pH tersebut masih dalam batas baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu 6-9. Derajat keasaman suatu perairan juga dipengaruhi oleh faktor alami dan juga manusia.

Peningkatan nilai pH terjadi pada titik sampling tiga mencapai 7,6 dikarenakan adanya aktivitas pembuangan limbah organik yang bersumber dari limbah domestik. Menurut Asrini dkk. (2017) fluktuasi nilai pH dipengaruhi oleh adanya buangan limbah organik dan anorganik ke sungai. Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5-7,5 biasanya mendekati pH netral (pH 7) dan memenuhi kehidupan hampir semua organisme air. Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri ini berkaitan dengan aktivitas enzim. Enzim dibutuhkan oleh beberapa bakteri untuk mengkatalis reaksi-reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan bakteri. Apabila pH dalam suatu medium atau lingkungan tidak optimal maka akan mengganggu kerja enzim-enzim tersebut dan akhirnya mengganggu pertumbuhan bakteri. Berdasarkan Gambar 4.2 uji statistik yang dilakukan untuk memperoleh korelasi antara total koloni bakteri dengan derajat keasaman pH, dapat disimpulkan bahwa pada parameter pH H_0 diterima karena $p\text{-value} = 0,982 > 0,05$ dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi ($R = 0,009$ dan $R^2 = 0,000$) hal ini berarti tidak terdapat korelasi hubungan antara total koloni bakteri dengan pH.

Hasil pengukuran turbiditas di perairan Sungai Krueng Aceh berkisar antara 20,7-107,9 NTU. Hal ini menunjukkan nilai kekeruhan yang tinggi dan berada di atas ambang baku mutu kekeruhan berdasarkan PERMENKES RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 yaitu 25 NTU. Kekeruhan air dapat disebabkan oleh adanya bahan-bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam air seperti lumpur dan bahan yang dihasilkan oleh buangan limbah rumah tangga. Hal ini diperkuat oleh Hadi dkk. (2018) yang mengatakan bahwa adanya beberapa faktor yang mempengaruhi kekeruhan di sungai antara lain dekomposisi batu-batuan, tanah, dan tumbuhan yang terbawa dari daratan ke perairan oleh hujan. Selain itu kekeruhan juga dipengaruhi oleh adanya partikel-partikel tersuspensi seperti tanah

liat, lumpur, bahan-bahan organik terlarut, bakteri, plankton, dan organisme lainnya.

Kekeruhan yang tinggi akan mempengaruhi proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan air karena intensitas cahaya yang masuk ke dalam badan air akan dipantulkan kembali oleh partikel-partikel tersuspensi, sehingga secara langsung dapat mempengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme. Berdasarkan Gambar 4.2 pada parameter turbiditas didapat korelasi antara total koloni bakteri dengan kekeruhan air yang disimpulkan bahwa $p\text{-value} = 0,085 > 0,05$ dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi ($R = 0,644$ dan $R^2 = 0,414$) hal ini menunjukkan bahwa sebesar 41,4% total koloni dipengaruhi oleh faktor kekeruhan.

Hasil pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) di perairan sungai Krueng Aceh berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan rata-rata nilai TDS yang didapat yaitu 348 mg/l, namun terdapat pada titik satu nilai TDS yang melebihi baku yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 yaitu 1000 mg/l sedangkan pada titik satu 1413 mg/l. Nilai TDS yang melebihi baku mutu akan memberikan dampak terhadap kehidupan tumbuhan dan hewan di perairan. Hadi dkk. (2018) menyatakan bahwa penyebab utama tercemarnya TDS adalah bahan organik berupa ion-ion yang umumnya dijumpai di perairan seperti air buangan yang mengandung molekul sabun, deterjen dan surfaktan yang larut air (limbah rumah tangga). Berdasarkan Gambar 4.2 pada parameter TDS di dapat korelasi antara total koloni bakteri dengan nilai TDS yang disimpulkan bahwa $p\text{-value} = 0,159 > 0,05$ dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi ($R = 0,548$ dan $R^2 = 0,301$) hal ini menunjukkan bahwa sebesar 30,1% total koloni dipengaruhi oleh faktor TDS.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai *Total Suspended Solid* (TSS) pada perairan sungai Krueng Aceh menunjukkan nilai yang melebihi ambang baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 yaitu 100 mg/l, sedangkan nilai TSS yang didapat berkisar antara 100-400 mg/l. Khairunna dkk. (2021) menjelaskan bahwa tingginya konsentrasi bahan organik pada air sungai yang berasal dari limbah domestik seperti deterjen, limbah industri dan pertanian mampu mempengaruhi nilai baku mutu air seperti TSS. Selain itu

aktivitas perkapalan membuat sedimen tersuspensi naik ke permukaan air dikarenakan adanya pergerakan baling-baling kapal. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa oleh badan air (Asrini dkk., 2017). Berdasarkan Gambar 4.2 pada parameter TSS di dapat korelasi antara total koloni bakteri dengan nilai TSS yang disimpulkan bahwa $p\text{-value} = 0,0971 > 0,05$ dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi ($R = 0,015$ dan $R^2 = 0,000$) hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan korelasi antara total koloni dengan parameter TSS.

Berdasarkan hasil pengamatan parameter DO menunjukkan nilai kadar DO pada sungai Krueng Aceh berada pada nilai diatas ambang baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu >5 mg/l, sedangkan pada perairan sungai Krueng Aceh yaitu dari delapan titik yang diambil berkisar antara 10,9-11,5 mg/l. DO merupakan salah satu parameter yang membuat organisme di air bisa melakukan proses respirasi. Sumber oksigen di air berasal dari tumbuhan yang hidup di perairan, akan tetapi selama proses fotosintesis, oksigen di air dapat berkurang ketika air sudah tercemar.

Masuknya zat organik ke dalam badan air menyebabkan penurunan oksigen terlarut dalam air (Ningsih dkk., 2018). Gambar 4.6 menunjukkan bahwa oksigen terlarut terendah berada pada titik lima, hal ini akibat titik lokasi ini merupakan lokasi yang berdekatan dengan pasar dan kawasan yang padat penduduk. Menurut Khairunna dkk. (2021), semakin tinggi nilai DO maka semakin bagus pula kualitas dari perairan tersebut. Berdasarkan Gambar 4.2 pada parameter DO di dapat korelasi antara total koloni bakteri dengan nilai DO yang disimpulkan bahwa $p\text{-value} = 0,0282 < 0,05$ dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi ($R = 0,434$ dan $R^2 = 0,189$) hal ini menunjukkan bahwa sebesar 18,9% total koloni dipengaruhi oleh parameter DO.

Hasil pengukuran parameter COD menunjukkan nilai pengukuran COD pada sungai Krueng Aceh berada diatas baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu 40 mg/l, sedangkan pada perairan sungai Krueng Aceh berkisar antara 140-493 mg/l. Berdasarkan Gambar 4.2 pada parameter COD di dapat korelasi antara total koloni bakteri dengan nilai COD yang disimpulkan bahwa $p\text{-value} = 0,0157 < 0,05$ dengan koefisien korelasi dan

koefisien determinasi ($R = 0,551$ dan $R^2 = 0,304$) hal ini menunjukkan bahwa sebesar 30,4% total koloni dipengaruhi oleh parameter COD.

Setelah dilakukan analisa data regresi linear sederhana menggunakan SPSS dan didapatkan hasil bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak, yang berarti bahwa terdapat korelasi secara tidak langsung antara total koloni dengan parameter yang diukur pada sampel sungai Krueng Aceh. Rata-rata hasil korelasi yang di dapat pada setiap parameter memiliki korelasi rendah.

4.2.2. Karakteristik *Bacillus sp.* yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Morfologi bakteri didapati pada penelitian ini dilihat dengan pengamatan makroskopis berbentuk batang, koloni berwarna krem putih, tepi koloni berbentuk bulat dan berombak, elevasi diamati dari permukaan pertumbuhan koloni terhadap media yaitu rata dan cembung. Pewarnaan gram pada bakteri menunjukkan hasil gram positif yang ditentukan dari warna bakteri pada mikroskop. *Bacillus sp.* adalah bakteri gram positif dengan hasil pewarnaan gram berwarna ungu. Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengamatan morfologi *Bacillus sp.* secara makroskopis dan mikroskopis.



(a)

(b)

Gambar 4.12 Pengamatan morfologi *Bacillus sp.* secara (a) makroskopik, (b) mikroskopik (pewarnaan gram)

Uji biokimia berfungsi untuk mengidentifikasi isolat bakteri berdasarkan sifat fisiologisnya. Sifat fisiologisnya dilihat dengan adanya interaksi metabolit

yang berasal dari reagen kimia selama uji biokimia. Uji biokimia bertujuan untuk memperkecil kesalahan, karena beberapa spesies memiliki sifat-sifat yang hampir sama.

Uji urease menunjukkan hasil positif dengan adanya perubahan warna media dari warna merah menjadi merah muda, dari ke 11 isolat yang di uji terdapat isolat BSB 1, BSF 1, BSH 1 yang menunjukkan hasil negatif, sisanya menunjukkan hasil positif dengan perubahan warna merah muda. Uji urease dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kapasitas bakteri dalam mendegradasi urea oleh enzim urease. Molekul amonia yang terbentuk membuat nilai pH memiliki sifat alkali terjadi warna merah muda pada media berarti tes positif.

Hasil uji fermentasi karbohidrat menggunakan media TSIA menunjukkan bahwa ke 11 isolat menunjukkan fermentasi karbohidrat + yaitu *slant* berwarna merah dan *butt* berwarna kuning terjadi fermentasi glukosa. *Slant* dan *butt* berwarna kuning terjadi fermentasi laktosa dan/atau sukrosa. isolat yang diujikan mampu memfermentasi glukosa, sukrosa dan laktosa, namun tidak memproduksi gas H₂S.

Hasil uji SCA (*Simmon Citrate Agar*) terhadap sebagian isolat yang diujikan menunjukkan adanya perubahan warna pada medium dari berwarna hijau menjadi biru. Hal ini menunjukkan uji SCA bersifat positif (Capuccino dan Sherman, 2014). Mikroorganisme berkemampuan untuk menggunakan asam sitrat sebagai sumber karbon untuk energi. Asam sitrat adalah pokok pertama di tengah-tengah siklus *krebs* dan diproduksi ketika proses kondensasi oleh enzim sitrat atau citrase, yang memproduksi asam *oxaloacetic* dan asetat. Produksi tersebut kemudian secara enzimatik akan dibentuk menjadi asam piruvat dan karbondioksida. Pada reaksi tersebut medium berubah menjadi alkaline, sebagai karbondioksida yang direaksikan dengan sodium dan air menjadi sodium karbonat. Terbentuknya sodium karbonat merubah medium menjadi *bromthymol* (indikator biru). Hal tersebut menjadikan perubahan pada medium dari warna hijau tua menjadi biru (Panjaitan dkk., 2020). Isolat yang menunjukkan uji SCA positif yaitu BSA 6, BSA 7, BSB 1, BSF 1, BSH 1.

Pengamatan hasil uji motilitas menggunakan media SIM menunjukkan ada sifat motil pada sebagian isolat. Adanya sifat motil pada bakteri akan

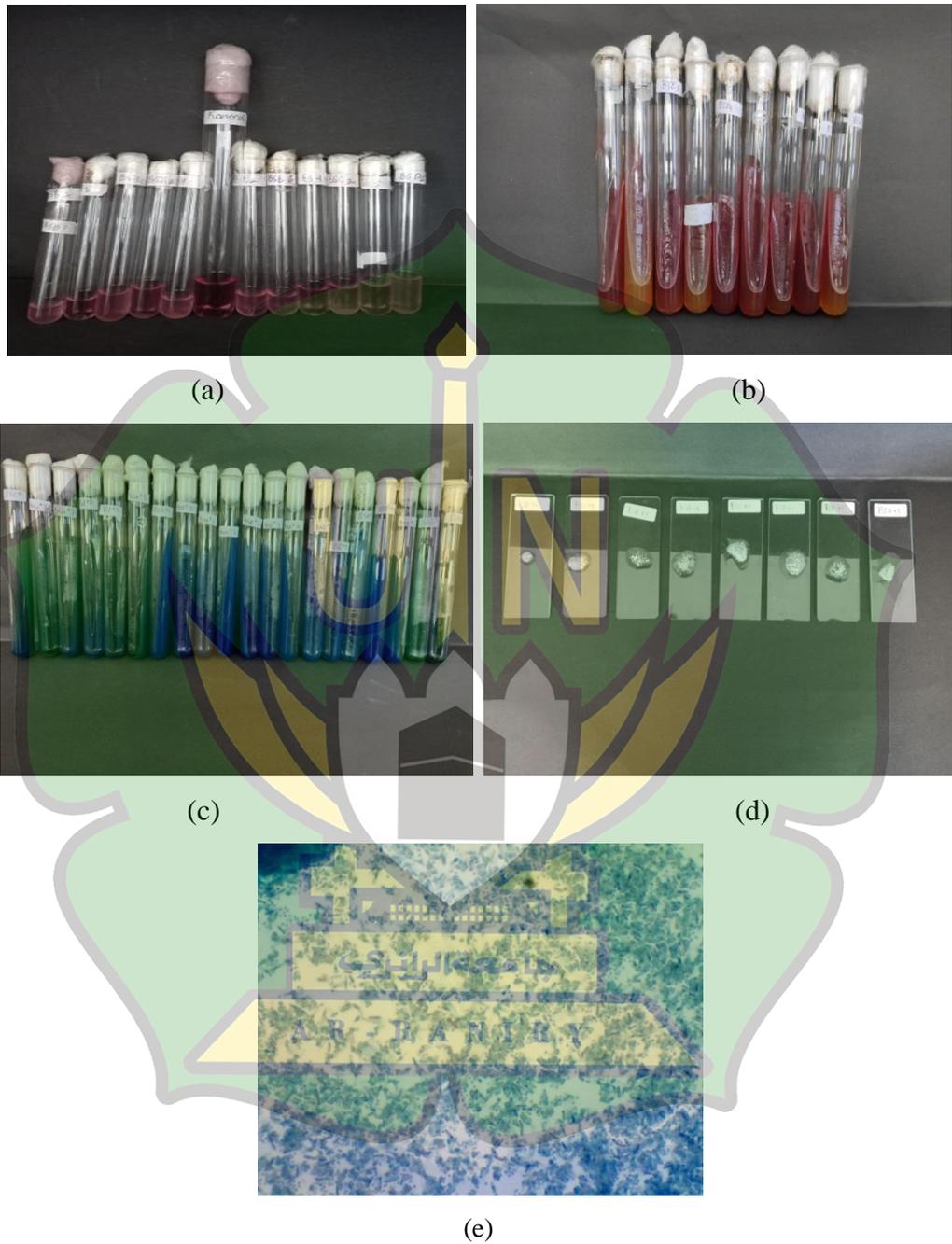
memperlihatkan perambatan di sekitar tusukan dalam media yang telah diinokulasikan. Sifat motil bakteri akibat dari sifat taksis oleh adanya rangsangan dari faktor lingkungan. Mekanisme motilitas bakteri yaitu tumbuh dengan pola menyebar disekitar inokulasi kultur bakteri dengan cara penusukan (Fahrudin dkk., 2020). Hasil uji motilitas pada isolat menunjukkan reaksi negatif pada isolat BSA 1, BSA 6, BSA 7, BSF 2, BSH 1, yang ditunjukkan dengan tidak menyebarnya koloni pada bagian lain namun hanya bertumpuk pada bagian tengah agar tegak saja, sedangkan pada BSA 2, BSA 8, BSB 1, BSD 2, BSF 1, BSG 2 menunjukkan reaksi positif dengan adanya penyebaran koloni lebih luas ke bagian lainnya.

Hasil uji katalase pada isolat tunggal yang diisolasi dari sedimen sungai Krueng Aceh menunjukkan adanya gelembung gas ketika ditetesi reagen H_2O_2 . Hal tersebut menunjukkan bahwa uji katalase positif terhadap isolat bakteri yang bersifat aerob (Capuccino dan Sherman, 2014). Hydrogen peroksida (H_2O_2) adalah gas beracun. Apabila senyawa tersebut terdapat dalam jumlah besar, dapat menyebabkan kematian pada bakteri. Enzim katalase akan digunakan untuk menghidrolisis senyawa H_2O_2 agar tidak beracun, dan hasil hidrolisisnya adalah air (H_2O) dan oksigen (O_2) dalam bentuk gelembung gas (Panjaitan dkk., 2020). Isolat yang diujikan pada penelitian ini memiliki enzim katalase untuk mempertahankan diri dari hidrogen peroksida. Bakteri yang memiliki enzim katalase diindikasikan dengan terbentuknya gelembung pada media yang disebabkan adanya gas oksigen dari penguraian H_2O_2 .

Endospora merupakan struktur yang tahan terhadap keadaan lingkungan yang ekstrim dan kering. Endospora berbentuk sangat padat dan refraktil karena memiliki kandungan air yang sangat rendah. Isolat yang diuji endospora merupakan bakteri gram positif. Hasil dari pewarnaan endospora menunjukkan 11 isolat yang diujikan menunjukkan hasil positif dengan adanya warna hijau setelah dilakukan pewarnaan endospora.

Berdasarkan identifikasi hasil uji biokimia terhadap 11 isolat, didapatkan hasil bahwa isolat tersebut merupakan bakteri dari genus *Bacillus* sp. Hal ini sesuai dengan karakteristik yang tertera dalam buku *Bergey's Manual Determinative Bacteriology 9th Edition*. Isolat *Bacillus* sp. memiliki ciri-ciri berbentuk batang, gram positif, memiliki endospora, reaksi positif terhadap

pengujian katalase, motil pada media SIM, memfermentasi glukosa, laktosa dan sukrosa. Berikut Gambar 4.13 hasil uji biokimia.



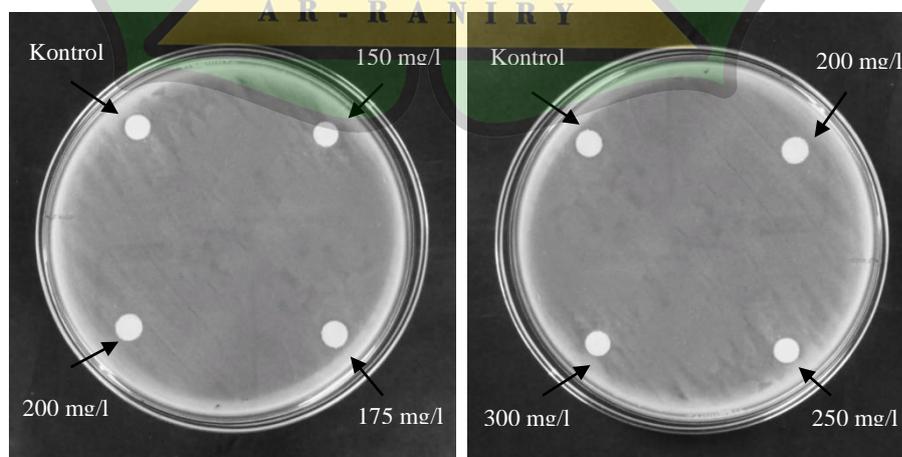
Gambar 4.13 Hasil uji biokimia

- (a) Uji urease; (b) Uji TSIA; (c) Uji SCA;
 (d) Uji katalase; (e) Uji endospora

4.2.3. Resistensi *Bacillus* sp. yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh terhadap Seng

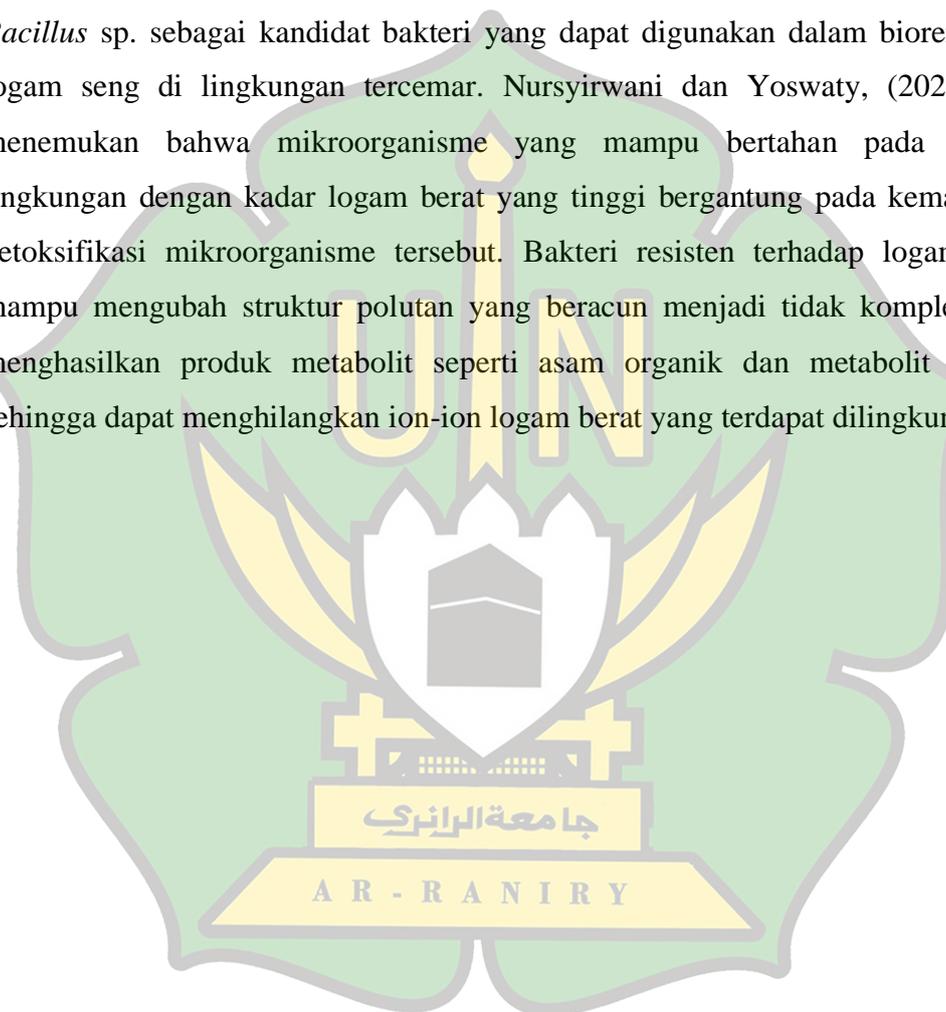
Uji resistensi *Bacillus* sp. yang dilakukan terhadap logam Zn menunjukkan adanya variasi diameter dari setiap konsentrasi logam pada zona hambat yang terbentuk. Semakin besar diameter zona hambat yang terbentuk, resistensi *Bacillus* sp. terhadap konsentrasi tersebut semakin kecil. Zona hambat merupakan suatu respon mikroba untuk menanggapi lingkungan yang terkontaminasi suatu bahan yang salah satunya adalah logam. Respon ini ditandai dengan tidak adanya koloni yang tumbuh disekitar sumber bahan, atau adanya hambatan pertumbuhan di sekitar sumber bahan (Fahrudin dkk., 2019). Isolat *Bacillus* sp. yang diujikan resistensinya terhadap logam seng mampu tumbuh dengan baik perlakuan variasi konsentrasi logam Zn hingga konsentrasi 300 mg/l.

Resistensi *Bacillus* sp. terhadap logam Zn juga dipengaruhi oleh habitat asal bakteri yang diisolasi yaitu Sungai Krueng Aceh, Kota Banda Aceh. Hamdan dkk. (2021) dalam penelitiannya telah mendeteksi adanya pencemaran logam Zn pada sedimen Sungai Krueng Aceh yang mencapai hingga 447 mg/l. Bakteri *Bacillus* sp. yang diuji resistensi terhadap logam Zn mampu tumbuh hingga di konsentrasi 300 mg/L dan dapat membentuk zona hambat dibawah 13 mm sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Cockerill, 2013) yaitu resisten, jika pertumbuhan bakteri bertahan dengan adanya ion logam berat dan menunjukkan zona hambat lebih rendah dari 13 mm. Gambar 4.14 menunjukkan diameter yang terbentuk pada variasi konsentrasi logam Zn.



Gambar 4.14 Diameter zona hambat pada variasi konsentrasi logam Zn

Uji yang telah dilakukan menunjukkan bahwa lingkungan yang sudah tercemar logam merupakan salah satu faktor utama penyebab meningkatnya resistensi bakteri terhadap logam berat. Hasil uji resistensi juga menunjukkan ketahanan *Bacillus* sp. terhadap penyerapan logam seng. Semakin kecil zona hambat yang terbentuk menunjukkan bahwa bakteri tersebut semakin mampu mentransformasi senyawa logam seng kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Ulfa dkk., 2016). Hal ini dapat dijadikan pertimbangan untuk memilih *Bacillus* sp. sebagai kandidat bakteri yang dapat digunakan dalam bioremediasi logam seng di lingkungan tercemar. Nursyirwani dan Yoswaty, (2021) juga menemukan bahwa mikroorganisme yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan dengan kadar logam berat yang tinggi bergantung pada kemampuan detoksifikasi mikroorganisme tersebut. Bakteri resisten terhadap logam berat mampu mengubah struktur polutan yang beracun menjadi tidak kompleks dan menghasilkan produk metabolit seperti asam organik dan metabolit lainnya sehingga dapat menghilangkan ion-ion logam berat yang terdapat di lingkungan.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis menunjukkan parameter DO dan COD yang berpengaruh terhadap total koloni sebagai biomonitoring perairan Sungai Krueng Aceh.
2. Karakteristik morfologi pengamatan makroskopis dan mikroskopis berbentuk batang, koloni berwarna krem putih, tepi koloni berbentuk bulat dan berombak, elevasi diamati dari permukaan pertumbuhan koloni terhadap media yaitu rata dan cembung. Pewarnaan gram pada bakteri menunjukkan hasil gram positif, uji endospora menunjukkan hasil positif.
3. Uji resistensi yang dilakukan pada *Bacillus* sp. terhadap logam seng hingga konsentrasi 300 mg/l mampu tumbuh dengan baik dan membentuk zona hambat berdiameter dibawah 13 mm, sesuai dengan ketentuan resistensi yang digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa saran untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan riset, diantaranya:

1. Perlu dilakukan uji molekuler untuk mendapatkan tingkat spesies *Bacillus*.
2. Optimasi pertumbuhan *Bacillus* dalam hal suhu, jumlah kultur, pH, konsentrasi logam, waktu kontak pada berbagai konsentrasi untuk meningkatkan kemampuan resistensi terhadap logam Zn.
3. Perlu dilakukan uji resistensi hingga konsentrasi logam Zn yaitu 447 mg/l yang terdapat pada Sungai Krueng Aceh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A. Z., dan 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 Reducin. *Bioedukasi*, 12(1), 66–73.
- Adhani, R., dan Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Mnausia* (S. Kholishotunnisa (ed.); Cetakan II). Lambung Mangkurat University Press.
- Adani, J. P., Wardhani, E K A, P., Kancitra. (2018). Identifikasi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) di Air Permukaan dan Sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Online Institusi Teknologi Nasional*. 6(2).
- Ahda, Y., dan Fitri, L. (2017). Karakterisasi Bakteri Potensial Pendegradasi Oli Bekas Pada Tanah Bengkel Di Kota Padang. *Sainstek : Jurnal Sains dan Teknologi*, 8(2)
- Ahmad, R. Z. (2018). Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan. *Wartazoa*, 28(1), 41–50.
- Alfaisal, Syamsidik, dan Masimin. (2017). Kajian Pola Sebaran Sedimen Pada Saluran Banjir Sungai Krueng Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), 283–296.
- Ali, M., & Rosyadi, H. I. (2020). Biomonitoring Makrozoobentos Sebagai Indikator Kualitas Air Sungai. *Jurnal Envirotek*, 12(1), 11–18.
- Ammar, M. (2021). Eksplorasi Bakteri Pendegradasi Timbal Pada Tanah Tercemar Air Lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Perkotaan, *Jurnal Galung Tropika*, Vol 10 (1).
- Andika, B., Wahyuningsih, P., dan Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (Ppks) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1)
- Angraeni, D. S. (2017). Kemampuan Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Berdasarkan Waktu Paparannya Oleh Bakteri Endapan Sedimen Perairan Sekitar Rumah Susun Kota Makassar *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar.
- Arifuddin, W., dan Banna, M. Z. Al. (2021). Uji Resistensi Bakteri Endofit Bambu terhadap Logam Merkuri dan Identifikasi Secara Molekuler dengan

Analisis Gen 16S rRNA. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 4(1).

Asrini, K., Sandi Adnyana, I. W., dan Rai, I. N. (2017). Studi Analisis Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai Pakerisan Provinsi Bali. *Ecotrophic : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 11(2), 101.

Ayol, A., Biryol, İ., Taşkan, E., dan Hasar, H. (2020). Enhanced sludge stabilization coupled with microbial fuel cells (MFCs). *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx.

Belladonna, M. (2017) Analisis tingkat pencemaran sungai akibat limbah industri karet di kabupaten bengkulu tengah. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jakarta.

Capuccino, J. G., dan Sherman, N. (2014). *Microbiology: A Laboratory Manual*. The Benjamin/ Cummings Publishing Co. Inc.

Cockerill, F. R. (2013). Performance standards for antimicrobial Susceptibility Testing. An informational supplement for global application developed through the Clinical and Laboratory Standards Institute. In *Clinical and Laboratory Standards Institute* (Vol. 33, Issue 1).

Dalya, F. dan. (2016). Peran Bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas Putida* Dalam Bioremediasi Logam Berat (Fe , Cu , DAN Zn) Pada Tanah Tercemar, *Bioremediation In Petroleum*.

Dawaiyah, A. (2020). Identifikasi Dan Uji Resistensi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bakteri Yang Diisolasi Dari Perairan Paciran Lamongan. *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel.

Naomi N, D., Puteri, R, D., Dadan, K. (2019). Indeks Pencemaran Air Di Kawasan Permukiman Kota Pontianak: Indikator Fisik Dan Kimia. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika Statistika dan Terapannya*. 8(4).

De Fretes, C. E., Sutiknowati, L. I., dan Falahudin, D. (2019). Isolasi dan identifikasi bakteri toleran logam berat dari sedimen mangrove di Pengudang dan Tanjung Uban, Pulau Bintan, Indonesia. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 4(2), Jakarta.

Diarti, M. W., Rohmi, R., Achmad, Y. S. K., & Jiwintarum, Y. (2018). a Characteristic of Morphology, Colony and Biochemistry of Bacteria That Isolated From Sediments of Mosquito Breeding Lagoon. *Jurnal Kesehatan Prima*, 11(2),

Edwar. (2019). Akumulasi Logam Berat Pb, Cd, Ni DAN Zn pada Daging Ikan di Teluk Kao, Halmahera. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan*. 2(2).

- El-barbary T.A.A, & El-Badry M.A. (2018). Bioremediation Potential of Zn (II) By Different Bacterial Species. *Saudi Journal of Biomedical Research (SJBR)*, 3(4), 144–150.
- El Baz, S. (2017). Bioremediation of Heavy Metals By Actinobacteria: Review. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 5(5), 359–369.
- Escamilla-Rodríguez, A., Carlos-Hernández, S., dan 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).
- Fahrudin, F., Haedar, N., Santosa, S., dan Wahyuni, S. (2020). Ekplorasi dan Karakterisasi Biokimia Bakteri Resisten Timbal (Pb) dari Sungai Tallo Makassar. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3),
- Fahrudin, Haedar, N., Santosa, S., dan 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.
- Fernández, O., Kang, S., Laily Noor Ikhsanto. (2020). Isolasi Bakteri Yang Berpotensi Sebagai Agen Bioremediasi Timbal (Pb) dari Lahan Tambang Emas Poboya Palu Sulawesi Tengah (Vol. 2017, Issue 1).
- Fu, D., Yan, Y., Yang, X., Rene, E. R., dan Singh, R. P. (2020). Bioremediation of contaminated river sediment and overlying water using biologically activated activated beads: A case study from Shedu river, China. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
- Gloria, Y., Satriani, I., dan Burhanuddin, A. (2019). *Bacteria Diversity In Sediment From Mangrove And Bekantan Conservation Area , Tarakan City*. 7(2).
- Hadi, I., Suhendrayatna, S., dan 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),
- Hakim, F. (2020). Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh. *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
- Hamdan. (2021). *Environmental Monitoring and Assessment Magnetic Susceptibility of Surface Sediments from Estuary River in Volcanic Region*.
Magnetic Susceptibility of Surface Sediments from Estuary River in Volcanic Region.

- Harmesa. (2020). Teknik-Teknik Remediasi Sedimen Terkontaminasi Logam Berat. *Oseana*, 45(1).
- Hudzicki, J. (2012). Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol Author Information. *American Society For Microbiology*.
- Jamilatur Rohmah, Niken Anggita Miranda dan Mariany Lambertine Marlina. (2021). Heavy Metal Content in Hair at Workers in Gas Station of Sidoarjo City in. *Medical (Journal of Medical Laboratory Science Technology)*, 4(2),
- Junopia, A. C. (2015). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Logam Timbal (Pb) yang Bersumber Dari Danau Tempe Kabupaten Wajo Sulawesi Selatan, *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar.
- Kallang, G. K. (2020). *Mikoremediasi Logam Berat Besi (Fe) pada Sedimen IPAL menggunakan Aspergillus niger dengan Pengambahan Variasi Bulking Agent*.
- Kamalia, D., Sudarti. (2022). Analisis Pencemaran Air Sungai Akibat Dampak Limbah Industri Batu Alam di Kecamatan Depok Kabupaten Cirebon. *Jurnal Envscience*. 6(1).
- Karunia, E., Kurniatuhadi, R., Hepi Y. A. (2021). Karakterisasi Bakteri *Bacillus* sp. (Kode NrLtF 5) Yang Diisolasi Dari Usus Cacing Nipah (*Namalycastis rhodochorde*). *Jurnal Protobiont*. 10(3).
- Khairunna, N., Agustina, S., Setiawan, I., Ramadhaniaty, M., Sakinah, R., Keumala, S., dan Ondara, K. (2021). Status Kualitas Perairan Utara Aceh Ditinjau Dari Konsentrasi TSS , BOD , Dan DO The Status of The Water Quality of Northern Aceh in Terms of. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Indonesia*, 1(3).
- Komarawidjaja, W., Riyadi, A., dan Garno, Y. S. (2017). Status Kandungan Logam Berat Perairan Pesisir Kabupaten Aceh Utara dan Kota Lhokseumawe. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2).
- Kosek, K., Koziół, K., Luczkiewicz, A., Jankowska, K., Chmiel, S., dan Polkowska, Ż. (2019). Environmental characteristics of a tundra river system in Svalbard. Part 2: Chemical stress factors. *Science of the Total Environment*,
- Kumaji, S. S., Katili, A. S., dan Lalu, P. (2019). Identifikasi Mikroalga Epilik sebagai Biomonitoring Lingkungan Perairan Sungai Bulango Provinsi Gorontalo. *Jambura Edu Biosfer Journal*, 1(1).

- Kurniawan, A., dan Ekowati, N. (2016). Review: Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 3, 36–45.
- Leong, S.S., Ismail, J., Denil, N.A., Sarbini, S.R., Wasli, W., Debbie, A., (2018) Microbiological and Physicochemical Water Quality Assessments of River Water in an Industrial Region of the Northwest Coast of Borneo (2018). *Water* 10(11), 1648; <https://doi.org/10.3390/w10111648>
www.mdpi.com/journal/water
- Nasution, Z., Slamet, B. (2020). Pengaruh Pemanfaatan Lahan terhadap Kualitas Air Sungai Percut dengan Metode Indeks Pencemaran (IP). *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 27(1).
- Ningsih, M. D. S., Linda, T. M., dan Fibriarti, B. L. (2018). Isolasi dan Keragaman Bakteri Ureolitik Lokal Riau yang Berpotensi sebagai Campuran Beton. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 11(1).
- Novi, C., Sartika, S., dan Shobah, A. N. (2019). Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla* sp. Pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1),
- Nuraeni, S., Asma'ul, H. K., dan Andi, S. (2019). Keanekaragaman Serangga Air dan Biomonitoring Berbasis Indeks Famili Biotik (Diversity of Aquatic Insects and Biomonitoring Based on Family Biotic Index). *Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 16(2), 147–157.
- Nursyirwani, N., dan Yoswaty, D. (2021). Isolation and Identification of Bacteria from Dumai Marine Waters that Have Potencial as Lead Bioremediation Agents. *Journal of Coastal and Ocean*, 2(3), 217–222.
- O. Patty, J., Siahaan, R., dan V. Maabuat, P. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara. *Jurnal Bioslogos*, 8(1), 16–20.
- Ode, L., Surya, Ridwan A, O., La, E, Muhammad, I, Yasin. (2019). Indikator Kualitas Air Sungai Dengan Menggunakan Makroinvertebrata Di Sungai Wanggu. *Jurnal Ecogreen*. 5(1).
- Panjaitan, F. J., Bachtiar, T., Arsyad, I., Lele, O. K., dan Indriyani, W. (2020). Karakterisasi mikroskopis dan uji biokimia bakteri pelarut fosfat (bpf) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif. *Jurnal Kajian Masalah Pertanian*, 1(1), 9–17.
- Pradesh, U., Campus, L., dan Up, L. (2017). *Research Article Bioremediation Of Zinc By Isolated Bacterial Strains Garima Awasthi, Awasthi Rachna Chaturvedi and Jyoti Prakash.*

- Puspita, F., Ali, M., Pratama, R., (2017). Isolasi dan Karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Bakteri *Bacillus* sp. Endofitik dari Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Agrotek*, 6(2).
- Purwaningsih, D., Wulandari, D. (2021). Uji Aktivitas Antibakteri Hasil Fermentasi Bakteri Endofit Umbi Talas (*Colocasia esculenta* L) terhadap Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Sains dan Kesehatan*. 3(5).
- Rahadi, B., Susanawati, L. D., dan 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.
- Rahayu, D. R., dan Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1).
- Rusyda, J. (2017). *Uji Kemampuan Bakteri Bacillus megaterium dan Bacillus subtilis Untuk Meremoval Logam Berat Kromium (III)* (Issue Iii).
- Sherman, C. (2014). *New Features Make the Micro Lab More Clinical Application Gram Staining : The First*.
- Singh, J., Sharma, D., Kumar, G., dan Sharma, N. R. (2018). Bioremediation: An Eco-sustainable Approach for Restoration of Contaminated Sites. *Microbial Bioprospecting for Sustainable Development*, November, 1–397.
- Singh, R., Ahirwar, N. K., Tiwari, J., Pathak, J., Chitrakoot, M. G., Vishwavidyalaya, G., dan Pradesh, M. (2018). *Review On Sources And Effect Of Heavy Metal In Soil : ITS Received*
- Subarkah, M., Dian, S., Eka, A., Aryani, S., Sumarlin. (2021). Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Zinc (Zn) di Perairan PPS Kendari. *Jurnal Teluk: Teknik Lingkungan UM Kendari*. 1(1).
- Supriyanti, S., Anggoro, S., dan Widyorini, N. (2017). Kelimpahan Bakteri Heterotrof Sedimen pada Berbagai Tipe Kerapatan di Kawasan Konservasi Mangrove Desa Bedono, Kecamatan Sayung, Demak. *Journal Of Maquares*, 6(2016), 311–317.
- Sukmawati, S., Maarifah D. Dela, Rat. (2021). Analisa Pencemaran Sungai Mandar Dengan Bioindikator Makroinvertebrata Melalui Metode Biotilik. *Bina Generasi: Jurnal Kesehatan*. 12(2).

- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., dan 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.
- Trisnaini, I., Kumala, S., Tri N,U., Feranita. (2019). Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 17(1).
- Ulfa, A., Suarsini, E., dan Henie, M. (2016). Isolasi dan Uji Sensitivitas Merkuri pada Bakteri dari Limbah Penambangan Emas di Sekotong Barat Kabupaten Lombok Barat : Penelitian Pendahuluan, *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), 793–799.
- Varghese, R., Babu, V. A., dan Jyothy, S. (2013). Bioremediation of Zinc Using *Bacillus* sp. Isolated from MetalContaminated Industrial Zone. *Prospects in Bioscience: Addressing the Issues*, 11–18.
- Wahyuni, H., Sasongko, S. B., Sasongko, D. P., Kelautan, D., Kepulauan, P., dan Belitung, B. (2013). Konsentrasi Logam Berat Di Perairan, Sedimen Dan Biota Dengan Faktor Biokonsentrasinya Di Perairan Batu Belubang, Kab. Bangka Tengah. *Metana*, 9(02), 8–18.
- Wang, J., Yuan, S., Tang, L., Pan, X., Pu, X., Li, R., dan Shen, C. (2020). Contribution of heavy metal in driving microbial distribution in a eutrophic river. *Science of the Total Environment*, 712, 136295.
- Wilda, R., Hamdan, A. M., dan Rahmi, R. (2020). A review: The use of mangrove for biomonitoring on aquatic environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1).
- Yohannes, B. Y., Utomo, S. W., dan Agustina, H. (2019). Kajian Kualitas Air Sungai dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *IJEEM - Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 4(2),
- Zulistiana Mufaidah, Supriharyono, M. R. M. (2016). Hubungan Kandungan Bahan Organik dengan Total Bakteri di Sedimen Muara Sungai Wisu, Jepara. *Diponegoro Journal Of Maquares Managementof Aquatic Resources*, 5, 265–274.

LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil analisis data SPSS

Analisis Regresi linear sederhana

➤ pH

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.009 ^a	.000	-.167	78685638.66976

a. Predictors: (Constant), pH

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3296602787456	1	3296602787456	.001	.982 ^b
	Residual	.000	6	.000		
		3714857839721	6	6191429732868		
		2536.000				
	Total	3715187499999	7			
		9992.000				

a. Dependent Variable: Total Koloni
b. Predictors: (Constant), Ph

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	107261324.042	938073142.311		.114	.913
	pH	-3031358.885	131371004.102	-.009	-.023	.982

a. Dependent Variable: Total Koloni

➤ Turbiditas

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.644 ^a	.414	.317	27022592.82037

a. Predictors: (Constant), Turbiditas (NTU)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3098676863586 846.500	1	3098676863586 846.500	4.243	.085 ^b
	Residual	4381323136413 153.500	6	7302205227355 25.600		
	Total	7480000000000 000.000	7			

a. Dependent Variable: Total Koloni

b. Predictors: (Constant), Turbiditas (NTU)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	145059770.365	43565828.666		3.330	.016
	Turbiditas (NTU)	-473648.092	229929.484	-.644	-2.060	.085

a. Dependent Variable: Total Koloni

➤ TDS

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.548 ^a	.301	.184	29525612.72130

a. Predictors: (Constant), TDS (mg/l)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2249429160592 342.000	1	2249429160592 342.000	2.580	.159 ^b
	Residual	5230570839407 658.000	6	8717618065679 43.000		
	Total	7480000000000 000.000	7			
a. Dependent Variable: Total Koloni						
b. Predictors: (Constant), TDS (mg/l)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	43042499.808	13783150.774		3.123	.021
	TDS (mg/l)	41544.541	25862.870	.548	1.606	.159
a. Dependent Variable: Total Koloni						

➤ TSS

Model Summary					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
1	.015 ^a	.000	-.166	35303961.49117	
a. Predictors: (Constant), TSS (mg/L)					

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1781818181818 .000	1	1781818181818 .000	.001	.971 ^b
	Residual	7478218181818 182.000	6	1246369696969 697.000		
	Total	7480000000000 000.000	7			
a. Dependent Variable: Total Koloni						
b. Predictors: (Constant), TSS (mg/L)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	59090909.091	43888582.952		1.346	.227
	TSS (mg/L)	-5090.909	134644.026	-.015	-.038	.971

a. Dependent Variable: Total Koloni

➤ DO

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.434 ^a	.189	.053	31806661.10229

a. Predictors: (Constant), DO (mg/l)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1410017857142 855.000	1	1410017857142 855.000	1.394	.282 ^b
	Residual	6069982142857 145.000	6	1011663690476 190.900		
	Total	7480000000000 000.000	7			

a. Dependent Variable: Total Koloni
b. Predictors: (Constant), DO (mg/l)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-496973214.286	469797605.025		-1.058	.331
	DO (mg/l)	50178571.429	42503438.736	.434	1.181	.282

a. Dependent Variable: Total Koloni

➤ COD

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.551 ^a	.304	.188	29453914.95032

a. Predictors: (Constant), COD (mg/l)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2274801364595 236.000	1	2274801364595 236.000	2.622	.157 ^b
	Residual	5205198635404 764.000	6	8675331059007 94.000		
	Total	7480000000000 000.000	7			

a. Dependent Variable: Total koloni
b. Predictors: (Constant), COD (mg/l)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	95284246.726	25551894.254		3.729	.010
	COD (mg/l)	-158093.083	97630.195	-.551	-1.619	.157

a. Dependent Variable: Total koloni

➤ Analisis uji resistensi

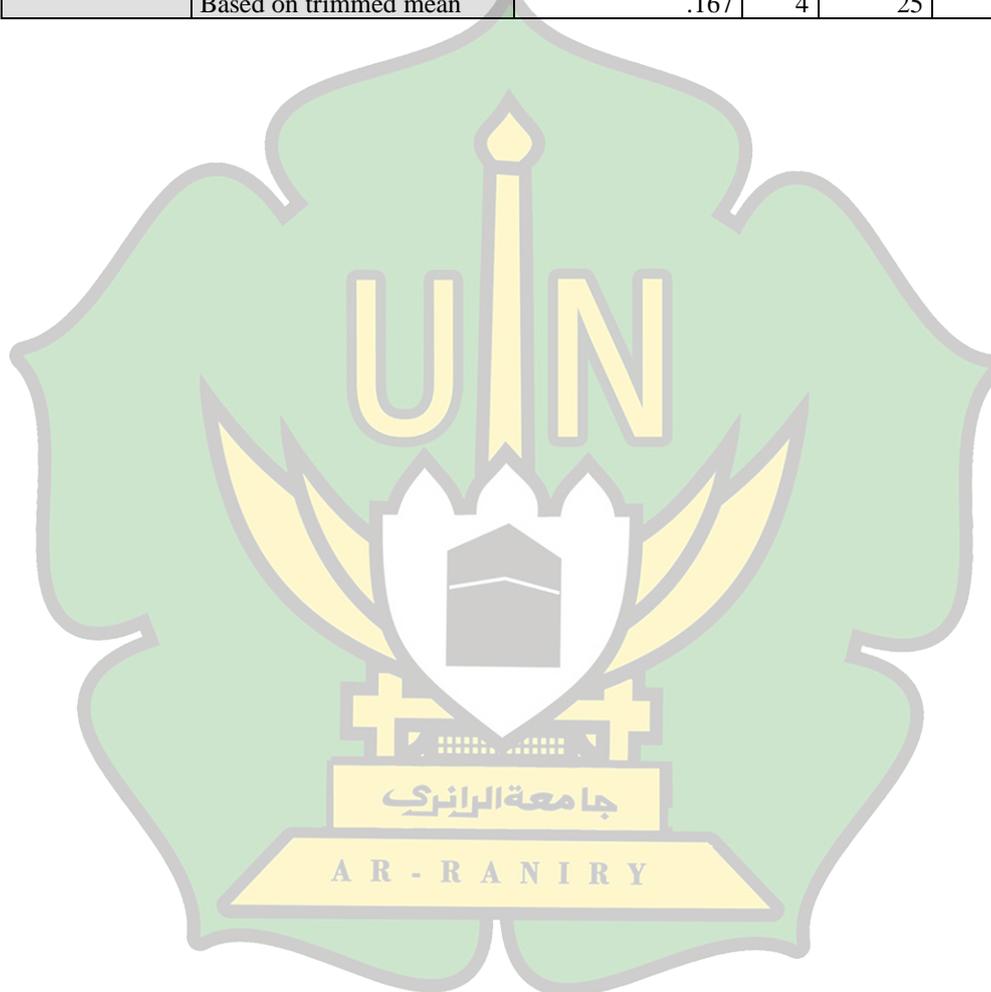
Tabel 4.3 Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Konsentrasi Logam	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ulangan	150 ppm	.380	6	.007	.678	6	.004
	175 ppm	.372	6	.009	.655	6	.002
	200 ppm	.287	6	.135	.809	6	.071
	250 ppm	.205	6	.200*	.902	6	.383
	300 ppm	.174	6	.200*	.980	6	.950

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Tabel 4.4 Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ulangan	Based on Mean	.220	4	25	.925
	Based on Median	.060	4	25	.993
	Based on Median and with adjusted df	.060	4	15.618	.993
	Based on trimmed mean	.167	4	25	.953



Lampiran B. Perhitungan konsentrasi larutan stok logam $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

➤ Pembuatan Larutan Standar Logam Berat $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Larutan baku induk dibuat dengan cara menimbang sebanyak 2,92 gram $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml. Diencerkan dengan aquades hingga 1000 ml.

$$\begin{aligned} \text{Gr} &= \frac{BM \text{ ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{BA \text{ Zn} \times 1 \text{ gram}} \\ &= \frac{191,39}{65,39 \times 1 \text{ gram}} \\ &= 2,92 \text{ gram} \end{aligned}$$

➤ Pembuatan Larutan Induk 150 ppm

Larutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 75 ppm dibuat dengan cara memipet 15 ml dari larutan baku induk 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan aquades hingga 100 ml

Larutan 1000 ppm menjadi 150 ppm dalam labu ukur 100 ml

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} \times 150 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 150 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 15 \text{ ml.}$$

15 mL diencerkan dengan aquades hingga 100 ml.

➤ Pembuatan Larutan Induk 175 ppm

Larutan Zn 175 ppm dibuat dengan cara memipet 17,5 ml dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan aquades hingga 100 ml

Larutan 1000 ppm menjadi 175 ppm dalam labu ukur 100 ml

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} \times 175 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 175 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 17,5 \text{ ml}$$

➤ **Pembuatan Larutan Induk 200 ppm**

Larutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 200 ppm dibuat dengan cara memipet 20 ml dari larutan baku induk 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Diencerkan dengan aquades hingga 100 ml

Larutan 1000 ppm menjadi 200 ppm dalam labu ukur 100 ml

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} \times 200 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 200 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

➤ **Pembuatan Larutan Induk 250 ppm**

Larutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 250 ppm dibuat dengan cara memipet 25 ml dari larutan baku induk 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Diencerkan dengan aquades hingga 100 ml

Larutan 1000 ppm menjadi 250 ppm dalam labu ukur 100 ml

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} \times 250 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 250 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 25 \text{ ml}$$

➤ **Pembuatan Larutan Induk 300 ppm**

Larutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 300 ppm dibuat dengan cara memipet 30 ml dari larutan baku induk 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Diencerkan dengan aquades hingga 100 ml

Larutan 1000 ppm menjadi 300 ppm dalam labu ukur 100 ml

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} \times 300 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 300 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 30 \text{ ml}$$

Lampiran C. Dokumentasi Penelitian



Gambar C.1. Pengambilan sampel sedimen di Sungai Krueng Aceh



Gambar C.2. Sampel sedimen



Gambar C.3. Sterilisasi alat menggunakan oven



Gambar C.4. Pembuatan media agar



Gambar C.5. Sterilisasi media menggunakan autoklaf



Gambar C.6. Penuangan media ke dalam cawan petri



Gambar C.7. Preparasi sampel sedimen



Gambar C.8. Pengisolasian bakteri dari sampel sedimen sungai Krueng Aceh



Gambar C.9. Pembuatan larutan stok logam



Gambar C.10. Pembuatan suspensi bakteri



Gambar C.11. *Screening* bakteri resisten logam seng



Gambar C.12. Pembuatan variasi konsentrasi logam seng



Gambar C.13. Pengujian resisten logam seng pada lima konsentrasi



Gambar C.14. Pengukuran diameter zona hambat yang terbentuk

