

**TOLERANSI FUNGI *Aspergillus* sp. YANG DIISOLASI
DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH TERHADAP
LOGAM NIKEL (Ni)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

ZAHRATUL MAULIDA

NIM. 170702018

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M/1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
TOLERANSI FUNGI *Aspergillus* sp. YANG DIISOLASI DARI SEDIMEN
SUNGAI KRUENG ACEH TERHADAP LOGAM NIKEL (Ni)

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:

ZAHRATUL MAULIDA

NIM. 170702018

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

Banda Aceh, 11 Juli 2022
Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Abd Mu'ahid Hamdan, M.Sc.

Syafrina Sari Lubis, M.Si.

NIDN. 2013128901

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

TOLERANSI FUNGI *Aspergillus* sp. YANG DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH TERHADAP LOGAM NIKEL (Ni)

TUGAS AKHIR

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

Pada Hari/Tanggal: Jumat, 22 Juli 2022
23 Dzulhijjah 1443 H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,


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

Sekretaris,


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 2025048003

Penguji I,


Diannita Harahap, M.Si.
NIDN. 2022038701

Penguji II,


Muslem, S.Si., M.Sc.
NIDN. 2006069004

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




Dina Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zahratul Maulida
NIM : 170702018
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Toleransi Fungi *Aspergillus* sp. Yang Diisolasi Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh Terhadap Logam Nikel (Ni).

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 dikemudian 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, 22 Juli 2022

Yang Menyatakan,



Zahratul Maulida

ABSTRAK

Nama : Zahratul Maulida
NIM : 170702018
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Toleransi Fungi *Aspergillus* sp. Yang Diisolasi Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh Terhadap Logam Nikel (Ni).
Tanggal Sidang : Jumat, 22 Juli 2022
Tebal Tugas Akhir : 52 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing II : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Kata Kunci : *Aspergillus* sp., Sedimen Krueng Aceh, Indeks Toleransi, Toleransi Nikel

Keberadaan logam Ni pada lingkungan perairan berasal dari aktivitas manusia dan terdapat secara alamiah pada lingkungan. Akumulasi logam Ni dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan dikarenakan karakteristiknya yang tidak dapat didegradasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh, dan menguji kemampuan toleransi *Aspergillus* sp. terhadap logam Ni pada variasi konsentrasi 75, 100, 150, dan 200 ppm. Metode isolasi fungi dilakukan dengan metode sebar (*spread plate*), pengujian toleransi fungi dilakukan dengan mengukur indeks toleransi. Hasil karakterisasi diperoleh lima isolat *Aspergillus* sp. dengan ciri koloni yang berbentuk bulat, berwarna putih pada bagian tepinya dan coklat kehitaman pada bagian tengahnya. Secara mikroskopis *Aspergillus* sp. memiliki konidiofor berwarna coklat, berbentuk tegak, serta memiliki kepala konidia yang berbentuk silinder atau clavate. Nilai toleransi *aspergillus* sp. terhadap logam Ni pada tiap konsentrasi diperoleh sebesar 0,51, 0,52, 0,50, dan 0,54 dengan waktu inkubasi 96 jam.

AR - RANIRY

ABSTRACT

Name : Zahratul Maulida
Student ID : 170702018
Department : Environmental Engineering
Title : Tolerance of Fungi *Aspergillus* sp. Isolated from Sediment of Krueng Aceh River Against Nickel (Ni) Heavy Metal
Thesis Defence Date : Friday, 22 July 2022
Thesis Thickness : 52 Pages
Supervisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Supervisor II : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Keyword : *Aspergillus* sp., Krueng Aceh Sediment, Tolerance Index, Nickel Tolerance

The presence of Nickel in the aquatic environment comes from human activities and occurs naturally in the environment. The accumulation of Ni can cause damage to the environment due to its non-degradable characteristics. This study aims to obtain the characteristics of *Aspergillus* sp. isolated from Krueng Aceh sediments and to assess the tolerance ability of *Aspergillus* sp. against Ni with various concentrations of 75, 100, 150, and 200 ppm. The spread plate method was used to isolate fungi, and the tolerance index was used to measure fungal tolerance. Characterization results obtained five isolates of *Aspergillus* sp. with round, white at the edges, and blackish brown colonies in the middle. Microscopically *Aspergillus* sp. it has erect brown conidiophores and a cylindrical or clavate conidia head. The tolerance value of *Aspergillus* sp. againsts Ni was 0.51, 0.52, 0.50, and 0.54 within a 96-hour incubation time.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunianya yang tidak terhingga kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik tanpa hambatan. Tidak lupa pula Sholawat dan Salam kita panjatkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, dan atas keluarga, sahabat beserta orang-orang yang mengikuti jejak langkah mereka hingga akhir zaman.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT serta dengan kekuasaan-Nya pula, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Toleransi Fungi *Aspergillus* sp. Yang Diisolasi Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh Terhadap Logam Nikel (Ni)”**. 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.

Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, doa, saran, dan kritik yang membangun dari berbagai pihak hingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta semangat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Azhar Amsal, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku Kepala Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
4. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Koordinator proposal tugas akhir.
5. Ibu Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T., selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberi arahan dan dukungan selama masa perkuliahan.
6. Bapak Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

7. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu serta membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Ibu Dianita Harahap, M.Si., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran dan arahan yang dapat membangun dalam penulisan tugas akhir.
9. Bapak Muslem, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan arahan dalam penulisan tugas akhir.
10. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah mengajarkan banyak ilmu, pengalaman dan arahan kepada penulis.
11. Staf Program Studi Teknik Lingkungan dan staf Tata Usaha/Akademik Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu bersedia membantu dalam kepengurusan administrasi selama masa perkuliahan.
12. Seluruh teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan yang sudah mendukung dan membantu selama penulisan tugas akhir.

Semoga segala jenis bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak mendapat ridha dan balasan dari Allah SWT. Semoga hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca dan bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan metode pengelolaan lingkungan.

AR - RANIRY

Banda Aceh, 22 Juli 2022

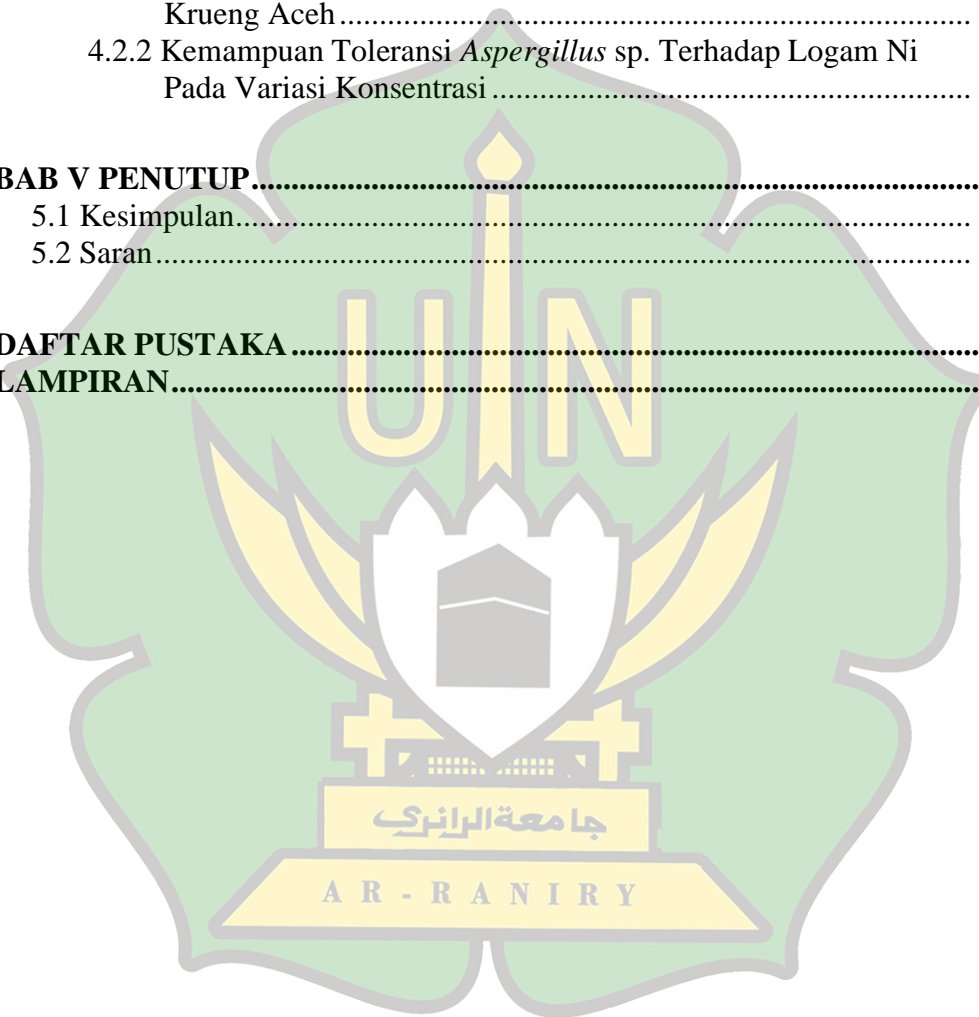
Penulis,

Zahratul Maulida

DAFTAR ISI

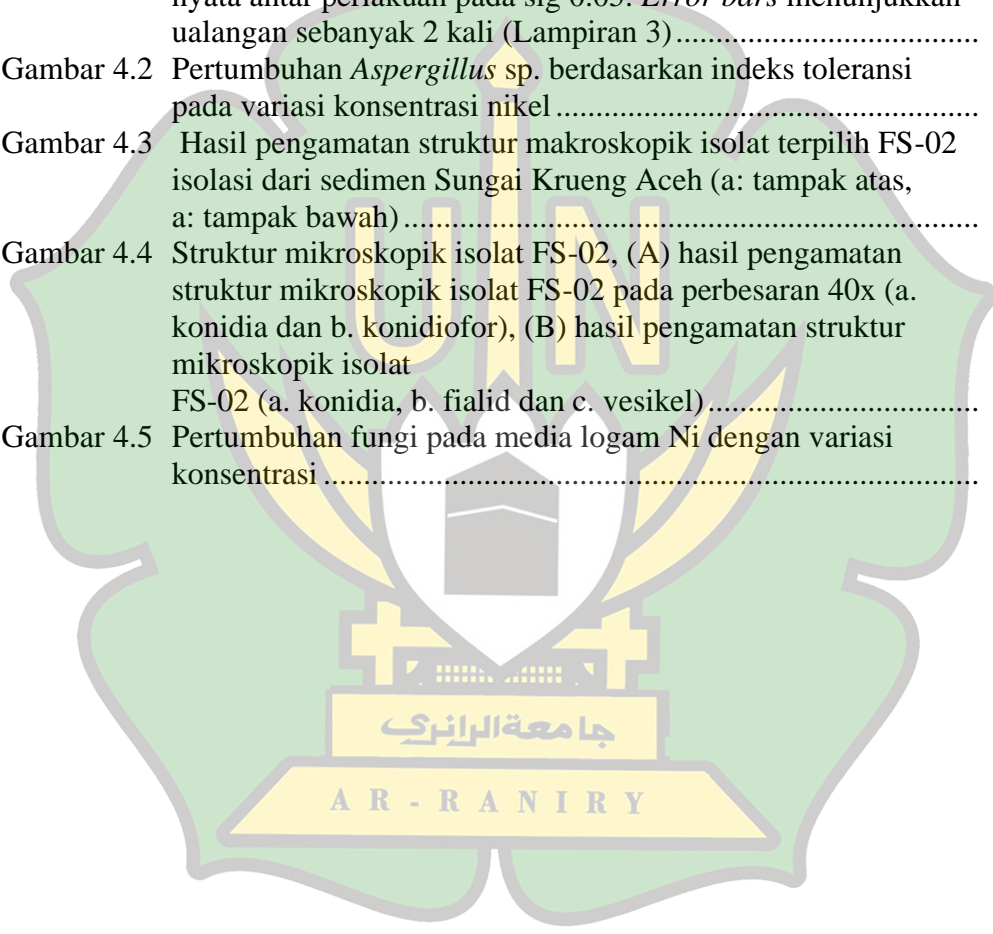
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Logam Berat	5
2.2 Nikel (Ni).....	5
2.2 Dampak Nikel.....	6
2.3 <i>Aspergillus</i> sp.	7
2.4 Klasifikasi <i>Aspergillus</i> sp.	8
2.5 Mekanisme Fungi Toleransi Logam.....	9
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Metode Penelitian.....	13
3.5 Tahapan Penelitian	14
3.5.1 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel.....	14
3.5.2 Pengukuran Parameter.....	16
3.5.3 Pembuatan Larutan Stok Logam $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	16
3.5.4 Sterilisasi Alat dan Bahan	17
3.5.5 Pembuatan Media PDA	17
3.5.6 Isolasi dan Identifikasi Mikroba Fungi Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh	18
3.5.7 Peremajaan Fungi <i>Aspergillus</i> sp.	18
3.5.8 Uji Toleransi <i>Aspergillus</i> sp. Terhadap Logam Berat Nikel (Ni).....	19
3.6 Analisis Data	20

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Hasil.....	21
4.1.1 Karakteristik Fungi <i>Aspergillus</i> sp. Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.....	21
4.1.2 Kemampuan Toleransi <i>Aspergillus</i> sp. Terhadap Logam Ni Pada Variasi Konsentrasi.....	22
4.2 Pembahasan.....	26
4.2.1 Karakteristik Fungi <i>Aspergillus</i> sp. Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.....	26
4.2.2 Kemampuan Toleransi <i>Aspergillus</i> sp. Terhadap Logam Ni Pada Variasi Konsentrasi.....	29
 BAB V PENUTUP.....	 34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran.....	34
 DAFTAR PUSTAKA.....	 35
LAMPIRAN.....	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Aspergillus</i> sp.	8
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	14
Gambar 3.2	Peta lokasi pengambilan sampel sedimen pada sungai Krueng Aceh	15
Gambar 3.3	<i>Ekman Grab Dredge</i>	15
Gambar 3.4	Lima fase pola pertumbuhan fungi terpapar logam	20
Gambar 4.1	Efek variasi logam nikel pada pertumbuhan <i>Aspergillus</i> sp. (mm) inkubasi 96 jam. Notasi huruf menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan pada sig 0.05. <i>Error bars</i> menunjukkan ualangan sebanyak 2 kali (Lampiran 3)	24
Gambar 4.2	Pertumbuhan <i>Aspergillus</i> sp. berdasarkan indeks toleransi pada variasi konsentrasi nikel	25
Gambar 4.3	Hasil pengamatan struktur makroskopik isolat terpilih FS-02 isolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh (a: tampak atas, a: tampak bawah)	27
Gambar 4.4	Struktur mikroskopik isolat FS-02, (A) hasil pengamatan struktur mikroskopik isolat FS-02 pada perbesaran 40x (a. konidia dan b. konidiofor), (B) hasil pengamatan struktur mikroskopik isolat FS-02 (a. konidia, b. fialid dan c. vesikel)	28
Gambar 4.5	Pertumbuhan fungi pada media logam Ni dengan variasi konsentrasi	30



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakteristik fisika kimia air pada Sungai Krueng Aceh	21
Tabel 4.2 Karakteristik morfologi fungi isolasi sedimen Sungai Krueng Aceh.....	22
Tabel 4.3 Nilai rerata pertumbuhan (mm) <i>Aspergillus</i> sp. dalam variasi konsentrasi Ni inkubasi 96 jam pada uji ANOVA satu arah.....	23
Tabel 4.4 Ringkasan uji Tukey HSD pertumbuhan <i>Aspergillus</i> sp. .	23
Tabel 4.5 Nilai indeks toleransi <i>Aspergillus</i> sp. pada variasi nikel	25



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan Stok $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	44
Lampiran 2. Pembuatan Larutan Uji Toleransi.....	45
Lampiran 3. Hasil Pertumbuhan Fungi.....	47
Lampiran 4. Analisa Data Pengaruh Logam Terhadap Pertumbuhan Fungi Menggunakan SPSS.....	48
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian.....	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan aktivitas manusia dalam bidang industri, agrikultur dan urbanisasi dalam beberapa dekade terakhir, telah menyebabkan masuknya berbagai macam bahan kimia antropogenik masuk ke dalam air, tanah dan udara yang menjadi permasalahan pada lingkungan. Bahan kimia yang masuk ke lingkungan ini terdiri dari berbagai senyawa organik, anorganik serta logam berat seperti arsen (As), tembaga (Cu), merkuri (Hg), nikel (Ni), seng (Zn), timbal (Pb) dan kadmium (Cd) (Kumar dkk., 2018).

Logam berat merupakan salah satu polutan utama dalam lingkungan. Di dalam lingkungan, logam berat mampu mengubah bentuk kimianya. Logam berat dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain dan mengendap di tanah dan sedimen, serta terakumulasi pada jaringan biologis (bioakumulasi). Hal ini dapat membahayakan setiap organisme, dan juga berisiko terhadap ekosistem. Sifat logam berat yang cenderung terakumulasi dan dapat pindah dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya. Logam berat terdeteksi pada beberapa organisme seperti kerang, tiram dan ikan (Arulkumar dkk., 2017).

Nikel merupakan logam berat yang paling umum ditemukan dalam sistem biologis. Nikel adalah salah satu logam transisi yang paling umum ditemukan pada lingkungan alami dalam kadar yang rendah. Nikel secara alami terdapat pada lingkungan akibat dari adanya letusan gunung berapi serta pelapukan tanah (Atkinson, 2016). Sekitar 150 ribu sampai 180 ribu metrik ton Ni masuk ke lingkungan setiap tahunnya. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya aktivitas alam, antropogenik serta penggunaan Ni dalam industri (Shahzad dkk., 2018).

Nikel bersifat esensial yang dibutuhkan keberadaannya oleh hewan, manusia dan tumbuhan dalam jumlah yang sedikit. Pada manusia Ni dibutuhkan untuk membantu memproduksi darah merah. Namun, dalam konsentrasi yang berlebih nikel dapat beracun (Amadi dkk., 2018). Sifat logam berat yang tidak dapat didegradasi secara alami, dan cenderung terakumulasi di dalam organisme

hidup, dapat menjadi penyebab timbulnya berbagai penyakit dan gangguan (Aris dan Tamrin, 2020).

Peningkatan pencemaran logam berat di lingkungan perairan dan terestrial mengakibatkan perlunya dilakukan perbaikan strategi dalam melakukan remediasi. Metode remediasi logam berat seperti presipitasi kimia, koagulasi, flokulasi, pertukaran ion dan filtrasi membutuhkan biaya yang besar, serta dapat membentuk limbah lain. Sementara itu, penggunaan agen biologi dalam remediasi logam berat dapat dilakukan dengan mudah serta ramah lingkungan (Jacob dkk., 2018). Penggunaan mikroorganisme dalam proses mengurangi konsentrasi polutan dikenal dengan istilah bioremediasi (De Fretes dkk., 2019).

Bioremediasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menangani logam berat yang terdapat pada lingkungan dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri dan fungi, tumbuhan (fitoremediasi) atau dapat dilakukan juga dengan mengubah kontaminan beracun menjadi produk samping lainnya yang kurang beracun dibanding senyawa induknya (Singh dkk., 2018). Salah satu agen biologi yang berpotensi dapat menjadi agen bioremediasi adalah fungi. Hal ini dikarenakan kemampuan bertahan hidup fungi yang tinggi, bahkan pada lingkungan hidup yang kurang menguntungkan sekalipun (Hernahadini dan Chaerun, 2019). Fungi memiliki tingkat toleransi yang cukup efektif terhadap logam berat. Tingkat toleransi ataupun resisten mikroorganisme terhadap logam dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu organisme dalam menahan toksisitas satu latau lebih mekanisme logam, ataupun logam yang terlibat didalamnya (Rose dan Devi, 2018).

Fungi dengan genus *Aspergillus* sp. telah menunjukkan sifat mekanik miselium yang baik, mampu tumbuh dengan baik pada konsentrasi logam berat yang tinggi, serta kapasitas yang tinggi dalam menyerap logam berat yang terdapat pada lingkungan, sehingga menjadikan fungi genus ini berpotensi sebagai alat yang digunakan dalam bioremediasi (Alves dkk., 2020). Beberapa penelitian yang telah dilakukan menemukan bahwa isolat jamur *Trichoderma* dapat menoleransi Ni sebesar 50 sampai 1200 ppm. Beberapa penelitian sebelumnya juga menemukan jamur lain yang toleran terhadap logam berat diantaranya yaitu,

Aspergillus niger, *Aspergillus flavus*, serta *Dendryphiella salina* (Padua dkk., 2021).

Sungai Krueng Aceh merupakan sungai besar yang berada di tengah Kota Banda Aceh dengan panjang sungainya sebesar 113 km. Sungai ini berfungsi sebagai sumber utama air bersih bagi masyarakat di Kota Banda Aceh. Pada sepanjang aliran Sungai Krueng Aceh terdapat berbagai aktivitas masyarakat seperti hotel, *doorsmeer*, SPBU (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum), industri (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan pupuk NPK), serta *water intake* PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum). Sebagian daripada hasil buangan limbah Kota Banda Aceh dialirkan melalui sungai ini pada bagian hilirnya (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Aceh, 2014).

Perairan muara Krueng Aceh diduga telah menerima beban bahan pencemar berupa limbah domestik, industri, organik, tumpahan minyak dan logam berat dari waktu ke waktu hingga dikhawatirkan telah melebihi daya dukungnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hadi dkk. (2018), diketahui pada hilir sungai Krueng Aceh telah ditemukan logam berat seperti Pb dan Cd dengan konsentrasi rata-ratanya 0,052 mg/L dan 0,015 mg/L yang dikategorikan tercemar berdasarkan baku mutu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003, tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

Menurut penelitian Hakim (2020) pada sedimen Sungai Krueng Aceh terdapat kandungan Ni dengan konsentrasi rata-ratanya sebesar 387 mg/kg. Berdasarkan standar internasional, baku mutu sedimen akuatik menurut *Dutch 'Amendment of the circular concerning the remediation of sediments 2008'* kadar baku mutu (Ni) yang terdapat pada sedimen akuatik adalah 210 mg/kg (Hin dkk., 2010).

Selain melakukan pemantauan tingkat pencemaran pada perairan sungai, penting pula untuk mengidentifikasi agen biologis yang berpotensi dapat digunakan dalam melakukan remediasi logam berat pada wilayah tercemar. Oleh karena itu, isolasi *Aspergillus* sp. dari sampel Sungai Krueng Aceh perlu dilakukan untuk mendeteksi toleransinya terhadap logam berat nikel (Ni) dalam konsentrasi yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, maka perumusan masalah daripada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari Sungai Krueng Aceh?
2. Bagaimana kemampuan toleransi *Aspergillus* sp. terhadap logam berat nikel (Ni) pada konsentrasi yang berbeda?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan daripada dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh.
2. Untuk mengetahui kemampuan toleransi *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh terhadap logam Ni.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh daripada dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Diharapkan memberikan pengetahuan mengenai karakteristik *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh.
2. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi dan pengetahuan mengenai kemampuan toleransi *Aspergillus* sp. terhadap logam berat nikel (Ni).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia yang memiliki berat jenis $>5 \text{ gr/cm}^3$. Logam berat berada pada periode 4 - 7 dengan nomor atom 22 – 94 pada sistem periodik. Logam berat terbagi pada logam berat esensial dan nonesensial. Logam berat esensial merupakan logam yang diperlukan untuk proses metabolisme makhluk hidup pada kadar tertentu, seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), kobalt (Co) dan nikel (Ni) Logam nonesensial merupakan logam yang tidak diperlukan pada proses metabolisme makhluk hidup. Keberadaan logam ini juga dapat menimbulkan efek toksik seperti logam timbal (Pb), merkuri (Hg), krom (Cr), dan kadmium (Cd) (Adhani dan Husaini, 2017).

Efek toksik pada logam berat terjadi dikarenakan sifat afinitasnya yang tinggi terhadap unsur S pada enzim, sehingga kinerja enzim menjadi tidak aktif pada proses metabolisme makhluk hidup. Logam berat juga mampu mengikat dirinya pada sel – sel membran, dimana dapat menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat dapat pula mengendapkan senyawa fosfat organik ataupun mengkatalis penguraiannya.

Reaksi pengendapan, oksidasi-reduksi, dan kompleksasi membuat logam berat pada sistem perairan berbentuk ion bebas atau senyawa anionik. Akibat dari reaksi tersebut, logam berat terendap di dasar perairan atau berubah bentuk menjadi spesies yang tidak terlalu berbahaya. Ion bebas dari logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan lemak organisme yang mengonsumsinya sehingga dapat mengalami biomagnifikasi (Rumhayati, 2019).

2.2 Nikel (Ni)

Nikel merupakan salah satu dari banyak logam berat yang dapat ditemukan pada lingkungan. Nikel dapat ditemukan dalam berbagai bentuk pada tanah, air dan juga udara. Nikel adalah unsur logam yang termasuk dalam golongan tabel periodik VIIIB. Titik leleh nikel berada pada 1455°C dan titik didih 2913°C ,

dengan nomor atom 28, berat atom 58.6934 dan massa jenisnya 8908 kg/m³. Konfigurasi elektron Ni yaitu [Ar] 3d⁸4s². Nikel tahan terhadap korosi udara, air dan alkali, tetapi mudah larut dalam larutan asam pengoksidasi pada pH <6,5. Logam Ni saat dipadukan dengan krom, besi dan logam lainnya, ia terbentuk menjadi baja tahan karat yang keras. Nikel sulfida, nikel oksida dan nikel karbonat sulit larut dalam air, sedangkan nikel klorida, nikel sulfat dan nikel nitrat mudah larut dalam air. Nikel terlarut dapat membentuk komponen kompleks dalam sistem biologis yang berikatan dengan bahan organik dengan berbagai ligan. Nikel merupakan elemen yang penting bagi tumbuhan saat berada dalam konsentrasi yang rendah, tetapi akan beracun dalam konsentrasi tinggi. Tidak hanya berbahaya bagi tumbuhan, tetapi Ni juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia dalam konsentrasi yang tinggi. Pada perairan alami dengan nilai pH 5-9, Ni dapat ditemukan dalam bentuk ion Ni(H₂O)₆²⁺ (Genchi dkk., 2020).

Nikel digunakan dalam produksi *stainless steels*, sebagai katalis, campuran besi baja, pelapisan produk listrik, koin, industri baterai, serta sebagai bahan baku dalam industri elektroplating dan pelapisan kaleng pada industri makanan. Kegiatan antropogenik mengakibatkan lepasnya Ni ke lingkungan, yang kegiatan tersebut seperti penambangan logam, emisi kendaraan, pembakaran bahan bakar fosil, pembuangan limbah rumah tangga, kota, industri, serta aplikasi pupuk. Karena Ni bersifat karsinogenik, tidak ada kadar Ni yang aman dalam air yang direkomendasikan (Song dkk., 2017).

2.2 Dampak Nikel

Nikel dapat masuk ke tubuh manusia melalui saluran pernafasan (inhalasi) serta melalui serapan saluran pencernaan (ingesti). Bergantung pada ukuran partikelnya, 75% asupan Ni yang diperoleh melalui pernapasan masih dipertahankan di dalam tubuh, hanya 25% yang dikeluarkan. 50% dari Ni yang dihirup akan tersimpan pada mukosa bronkus, dan 25% lainnya akan tersimpan pada parenkim paru. Nikel yang diserap diekskresikan melalui urin. Nikel diserap dan diangkut melalui aliran darah yang terikat albumin. Akumulasi Ni tertinggi

terjadi pada ginjal sebanyak 70%, lalu pada paru-paru, hati dan endokrin (Rathor dkk., 2014).

Nikel juga merupakan elemen yang esensial bagi tumbuhan, tetapi sebagian besar spesies tanaman memiliki konsentrasi yang sangat rendah ($0,05-10 \text{ mg kg}^{-1}$) (Rathor dkk., 2014). Menurut penelitian Correia dkk. (2018) tingkat konsentrasi logam Ni di dalam tanah dapat berefek fitotoksik pada tanaman tomat, mengganggu penyerapan nutrisi penting serta menunda siklus vegetatif tanaman, sehingga mengurangi produksi tanaman tomat hingga 28%.

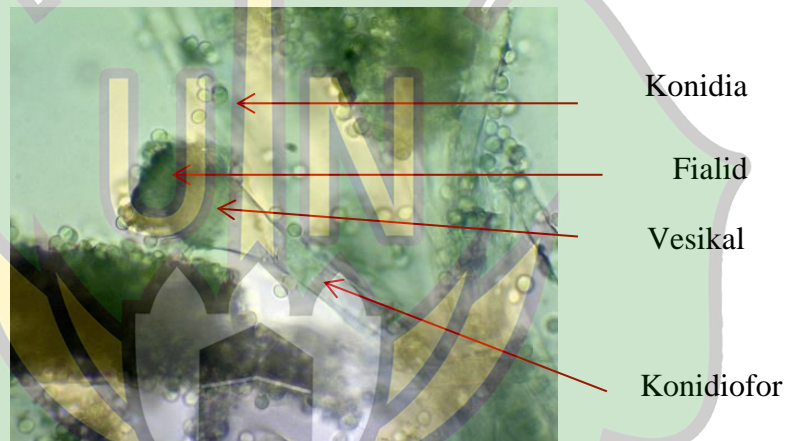
2.3 *Aspergillus* sp.

Aspergillus sp. pertama kali dijelaskan oleh Micheli pada tahun 1729 sebagai jamur aseksual yang konidioforanya menyerupai *Aspergillum*. *Aspergillus* merupakan salah satu kapang yang berasal dari kelas *Ascomycota*, hal ini dapat diketahui dari struktur konidianya yang berbentuk semi bulat, oval ataupun bulat. Konidia menempel pada bagian fialid, dan fialid menempel pada bagian dari ujung konidiofor yang mengalami pembengkakan atau disebut juga dengan vesikel. *Aspergillus* tumbuh dan berkembang biak dengan cepat, juga menghasilkan hifa aerial yang memiliki struktur konidia yang khas, yaitu konidiofor panjang dengan vesikel terminal tempat phialides menghasilkan rantai konidia basipetal. *Aspergillus* dapat diidentifikasi berdasarkan perbedaan dari morfologi dalam strukturnya, ukuran, bentuk tekstur dan juga warna konidianya (Brooks dkk., 2013)

Aspergillus merupakan salah satu jenis fungi yang banyak digunakan sebagai biosorben dalam proses biosorpsi. Hal ini dikarenakan *Aspergillus* dapat dikembang biakkan dengan baik dalam media agar serta bernilai ekonomis dan ramah lingkungan. Bakteri, jamur dan mikrofit dapat digunakan sebagai alternatif biosorben dalam proses biosorpsi, dan mulai banyak digunakan dalam mengikat logam berat dari larutan. Dalam melakukan pengasingan logam dari larutan berair, menggunakan metode adsorpsi dengan adsorben fungi dipercaya lebih ekonomis dan efisien. Hal ini disebabkan oleh jamur yang sebagian besar dinding selnya tersusun dari gugus karboksil dan gugus amino. Gugus-gugus ini dapat bertindak

sebagai pembentukan kompleks dengan ion logam, dan penukaran ion. Dalam mengikat ion logam fungi memiliki kemampuan yang cukup tinggi dan relatif mudah dalam penyerapan ion (Fatimah dkk., 2014).

Aspergillus merupakan mikroorganisme eukariot, yang penyebarannya sangat luas dan berlimpah di alam. *Aspergillus* juga merupakan jamur yang dapat ditemukan dengan mudah pada berbagai habitat, umumnya seperti pada saprofit ditanah, makanan yang disimpan serta produk pakan (Andriani dkk., 2019). Jamur spesies *Aspergillus* tersebar secara kosmopolitan, hal ini disebabkan oleh spora jamurnya yang mudah disebarkan oleh angin (Praja dan Yudhana, 2017).



Gambar 2.1 *Aspergillus* sp.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

2.4 Klasifikasi *Aspergillus* sp.

Taksonomi dari *Aspergillus* sp adalah (Nguyen dkk., 2020):

Kingdom : Fungi

Divisi : *Ascomycota*

Kelas : *Eurotiomycetes*

Ordo : *Eurotiales*

Famili : *Aspergillaceae*

Genus : *Aspergillus*

Spesies : *Aspergillus* sp

2.5 Mekanisme Fungi Toleransi Logam

Toleransi merupakan kemampuan mikroorganisme dalam beradaptasi terhadap polutan. Dalam studi epidemiologi, toleransi logam dapat diartikan sebagai fenomena dimana mikroorganisme meningkatkan ketahanannya terhadap stres akibat paparan toksisitas logam berat. Logam dan senyawanya berinteraksi dengan fungi dalam berbagai cara, tergantung pada jenis logam, organisme, dan lingkungan. Aktivitas metabolisme fungi dapat mempengaruhi jenis dan mobilitas logam. Toksisitas logam dipengaruhi oleh perilaku kimia dan jenis logam tertentu, yang sering dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia lingkungan sekitarnya. Efek toksik yang disebabkan oleh logam pada fungi yaitu, logam dapat memblokir enzim pada fungi, menggantikan ion logam esensial, yang menyebabkan gangguan pada membran sel (Song dkk., 2017).

Fungi memiliki kemampuan untuk mempengaruhi toksisitas logam dikarenakan adanya produksi protein pengikat logam seperti kitin dan melanin, yang memiliki kemampuan mengikat logam yang signifikan (Mukherjee, 2016). Kemampuan organisme untuk melakukan toleransi terhadap logam melibatkan lebih dari satu mekanisme, yaitu:

- (i) ekspresi gen fungi,
- (ii) mengkarantina logam ekstraseluler dan pengendapannya,
- (iii) menghasilkan *metallothionein* (protein pengikat logam),
- (iv) menghindari logam (mengurangi penyerapan atau meningkatkan *efflux*, pembentukan kompleks di luar sel, pelepasan asam-asam organik, dan lain-lain), dan
- (v) *khelasi* intraseluler (sintesis ligan seperti polifosfat dan metalotionein) (Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

Mekanisme resistensi logam berat pada fungi dan khamir sebagian besar bergantung pada sekuestrasi efektif logam toksik di dalam sel, karena terdapat banyak target yang sensitif terhadap logam termasuk metabolisme seluler. Oleh karena itu, mekanisme resistensi logam dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu 1) berkurangnya akumulasi ion logam oleh sel merupakan akibat dari adanya ekskresi zat pengikat logam atau adanya kerusakan pada sistem transportasi

tertentu; 2) perubahan distribusi ion pada intraseluler dengan mengikat molekul intraseluler tertentu, misalnya logam tembaga atau kadmium akan mengikat pada *metallothionein*, merkuri dan tembaga akan mengikat pada dinding sel, logam mangan akan terikat ke sel partikulat, dan pada logam kobalt akan terikat pada vakuola atau mitokondria (Pócsi, 2011).

2.6 Mekanisme Proses Biosorpsi

Biosorpsi merupakan mekanisme adsorpsi pasif yang cepat dan reversibel. Biosorpsi adalah proses fisika-kimia yang mencakup pula di dalamnya mekanisme penyerapan, adsorpsi, pertukaran ion, kompleksasi permukaan dan presipitasi (Gadd, 2009). Biosorpsi adalah proses pengikatan ion yang cepat dan reversibel dari larutan ke gugus fungsi yang ada di permukaan biomassa. Proses ini tidak bergantung pada metabolisme seluler. Biosorpsi dapat dilakukan pada rentang nilai pH 3-9 dan dengan suhu 4-90°C. Ukuran partikel biosorben yang optimum berkisar antara 1 dan 2 mm, dengan keseimbangan adsorpsi dan desorpsi yang dicapai dengan sangat cepat (Michalak dkk., 2013).

Aspergillus sp. memiliki struktur morfologi yang kompleks sehingga terdapat banyak cara bagi *Aspergillus* sp. dalam melakukan biosorpsi logam berat. Biosorpsi memiliki variasi dalam mekanismenya, Ahalya dkk (2003) mengklasifikasikan biosorpsi berdasarkan:

1. Ketergantungan terhadap metabolisme sel
 - a. Mekanisme yang bergantung terhadap metabolisme (*metabolism dependent*)
 - b. Tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism independent*)
2. Tempat logam terakumulasi
 - a. Biosorpsi permukaan sel
 - b. Akumulasi ekstraseluler
 - c. Akumulasi intraseluler

Transportasi logam melintasi membran sel menghasilkan akumulasi intraseluler, yang bergantung pada metabolisme sel. Hal ini menunjukkan bahwa biosorpsi semacam ini dapat terjadi hanya dengan sel-sel yang hidup. Hal ini

sering dikaitkan dengan sistem pertahanan aktif mikroorganisme, yang bereaksi dengan adanya logam beracun (Ahalya dkk., 2003).

Mekanisme absorpsi logam berat dapat dibagi menjadi (Adhani dan Husaini, 2017):

1) *Passive uptake*

Proses ini terjadi ketika ion dari logam berat berikatan pada dinding sel biosorben. Terdapat dua cara pada mekanisme *passive uptake*, pertama dengan cara ion pada dinding sel digantikan oleh ion logam berat; dan yang kedua adalah terbentuknya senyawa kompleks antara ion logam berat dengan gugus fungsional yang terdapat pada dinding sel seperti amino, karbonil, hidroksi, thiol, hidroksi-karboksil, dan fosfat secara bolak balik dan cepat.

2) *Active uptake*

Berbagai tipe sel hidup dapat melakukan *active uptake*. Mekanisme *active uptake* pada mikroorganisme terjadi secara simultan sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan atau akumulasi intraseluler ion logam.

Menurut Park dkk. (2010) beberapa faktor yang dapat mempengaruhi biosorpsi logam antara lain:

a. Konsentrasi Logam

Proses biosorpsi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi logam. Meningkatnya konsentrasi logam, meningkatkan pula jumlah polutan logam yang terbiosorpsi per satuan berat biosorben, tetapi menurunkan efisiensi penyisihan logam berat.

b. Konsentrasi biomassa *Aspergillus sp.*

Semakin tinggi konsentrasi biomassa *Aspergillus sp.* maka semakin tinggi pula penyerapan logam, juga meningkatkan efisiensi penyisihan logam.

c. pH

pH sangat mempengaruhi larutan logam dan aktivitas gugus fungsi yang ada dalam biosorben. Secara umum, ketika pH larutan menurun persaingan antara proton dan ion logam dalam larutan untuk gugus fungsi yang ada pada permukaan biosorben meningkat, sehingga mengurangi kapasitas biosorpsi. Namun nilai pH yang tinggi dapat mempengaruhi penyerapan logam melalui pembentukan

endapan senyawa logam yang tidak larut. Oleh sebab itu penting untuk menemukan nilai pH yang optimum pada proses biosorpsi (De Freitas dkk., 2019).

d. Suhu

Suhu berpengaruh terhadap biosorpsi karena suhu mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme sel mikroorganisme. Peningkatan suhu juga dapat merusak struktur fisik biosorben.

e. Keberadaan ion lain

Keberadaan kation logam tunggal pada lingkungan jarang ditemukan. Biasanya biosorpsi sering digunakan dalam pengolahan limbah yang mengandung lebih dari satu jenis logam berat, oleh karena itu biosorpsi dengan satu jenis logam berat dapat dipengaruhi oleh keberadaan ion-ion lainnya. Keberadaan ion-ion lain akan mempengaruhi proses biosorpsi oleh fungi. Keberadaan ion lain dapat menimbulkan persaingan dalam melakukan pengikatan pada biosorben.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian telah dilakukan selama lima bulan, dimulai dari bulan Agustus 2021 sampai dengan Mei 2022. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

3.2 Alat dan Bahan

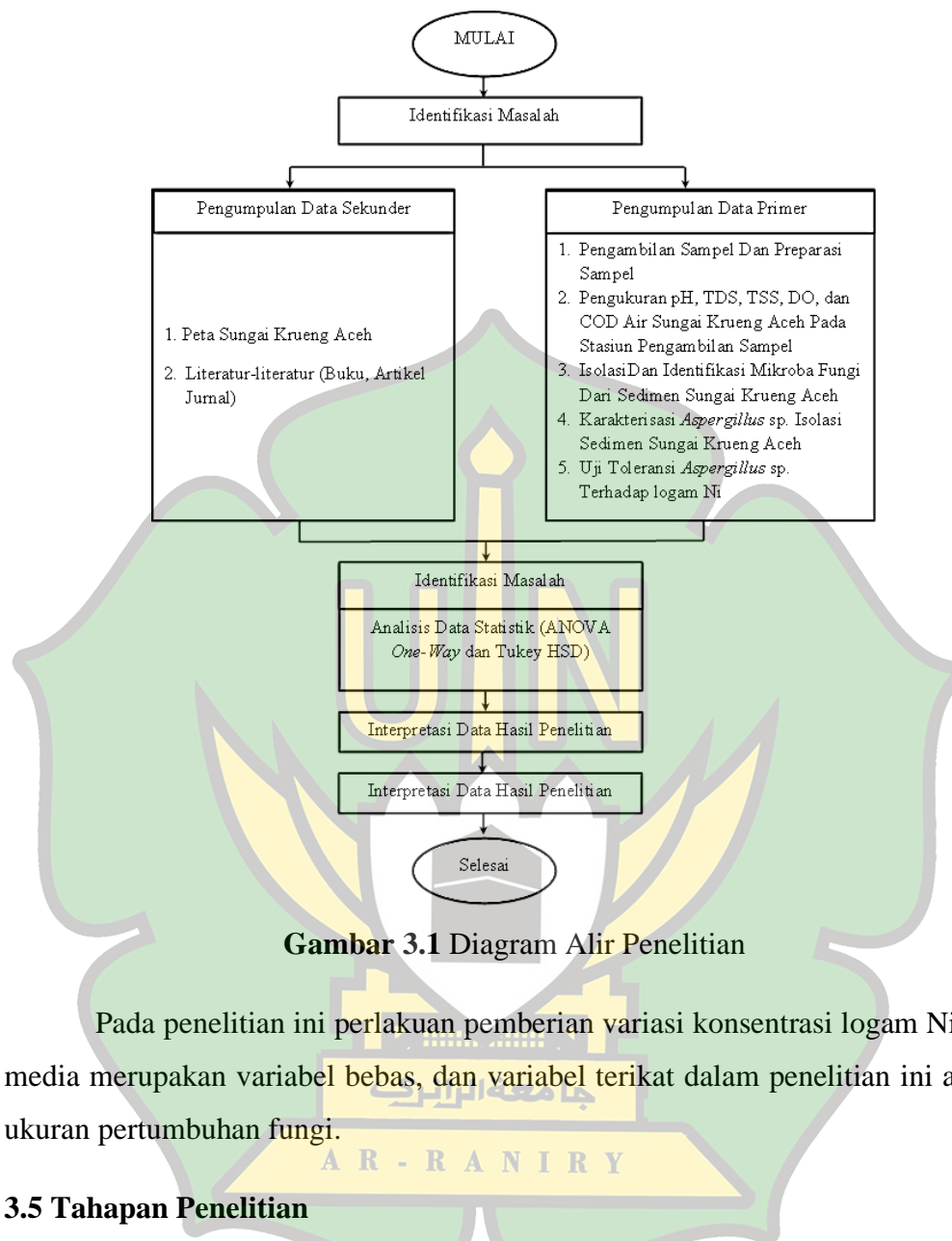
Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah *styrofoam box*, plastik klip, *ekman grab dredge*, *autoclave*, tabung reaksi, mikropipet, cawan petri, gelas ukur, *laminar air flow* (LAF), bunsen, erlenmayer, inkubator, mikroskop, timbangan digital, oven, jarum ose, batang kaca, batang L, *hotplate*, *magnetic stirrer*, dan labu ukur.

Bahan-bahan yang digunakan adalah sampel sedimen dari Sungai Krueng Aceh, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), alkohol 70%, logam $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, *aluminium foil*, kertas label, tisu, *Sodium Chloride* (NaCl), akuades, kapas, *plastic wrap*, korek api, spiritus, *chloramphenicol*, dan *methylene blue*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksperimen, yaitu penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi atau data tentang akibat dari adanya suatu perlakuan (*treatment*). Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan data kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (*independent*) terhadap variabel terikat (*dependent*). Variabel bebas, yaitu variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan perubahan pada variabel terikat. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi dikarenakan adanya variabel bebas (Mukhid, 2021).

Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



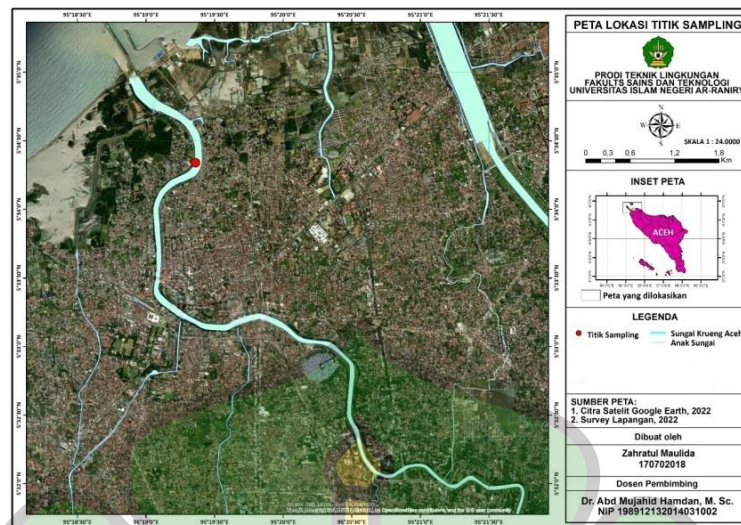
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini perlakuan pemberian variasi konsentrasi logam Ni pada media merupakan variabel bebas, dan variabel terikat dalam penelitian ini adalah ukuran pertumbuhan fungi.

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* yang merupakan teknik pengambilan sampel dengan menentukan kriteria tertentu (Mukhsin dkk, 2017). Lokasi pengambilan sampel sedimen pada Sungai Krueng Aceh dilakukan pada daerah Gampong Jawa, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}34'15.55''\text{U}$, $95^{\circ}19'19.14''\text{T}$ seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta lokasi pengambilan sampel sedimen pada sungai Krueng Aceh

Pengambilan sampel sedimen di dasar Sungai Krueng Aceh dilakukan sesuai dengan metode USEPA-600 (SOP#:2016). Sampel sedimen diambil dengan menggunakan *Ekman Grab Dredge*. *Ekman Grab Dredge* merupakan alat pengambilan sampel sedimen yang ringan dengan rahang pengambilan sampel yang diaktifkan menggunakan pegas. Alat ini digunakan untuk mengambil sedimen bertekstur halus yang terkonsolidasi sedang (Ashbrook, 2014). Pengambilan sampel sedimen menggunakan *Ekman Grab Dredge* dilakukan dengan menurunkan alat sampai ke kedalaman 10 sampai 15 cm di atas permukaan sedimen, selanjutnya sampel yang telah diambil diangkat, dan air yang masuk ke alat dituang secara perlahan melalui bagian atas alat untuk dapat mempertahankan fraksi sedimen halus. Pindahkan sampel yang telah diambil ke dalam plastik klip yang steril.



Gambar 3.3 *Ekman Grab Dredge*

(Sumber: Hakim, 2020)

3.5.2 Pengukuran Parameter

Pengukuran parameter air pada stasiun pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan alat laboratorium sesuai peruntukannya agar didapat hasil yang sesuai. Metode pengukuran dilakukan sesuai dengan SNI. Pengukuran parameter pH (SNI 06-6989.11-2004), COD (SNI 6989.73:2009), TSS (SNI 06-6989.3-2004), DO (SNI 06-6989.14-2004), TDS diukur dengan menggunakan alat TDS meter.

3.5.3 Pembuatan Larutan Stok Logam NiSO₄·6H₂O

Pembuatan larutan stok 1000 ppm Ni dibuat dengan menambahkan 4,488 gram logam NiSO₄·6H₂O dalam 1000 mL akuades (Lampiran 1). Larutan Ni diaduk selama 15 menit serta kemudian didiamkan selama 24 jam di tempat lain guna memperoleh larutan garam yang lengkap (Oyewole dkk., 2019). Pembuatan larutan stok NiSO₄·6H₂O dilakukan dengan cara menghitung menggunakan rumus berikut:

$$Gr = \frac{Mr \text{ NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{Ar \text{ Ni} \times 1 \text{ gram}} \quad (3.1)$$

Dengan:

Mr = Molekul Relatif

Ar = Atom Relatif

Pembuatan larutan uji toleransi Ni dengan variasi konsentrasi 75, 100, 150, dan 200 ppm (Lampiran 2) dilakukan dengan menggunakan larutan stok NiSO₄·6H₂O 1000 ppm dengan rumus sebagai berikut (Benmalek dan Fardeau, 2016):

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2 \quad (3.2)$$

Dimana V_1 adalah volume larutan stok yang digunakan, M_1 adalah konsentrasi logam dalam larutan stok, V_2 adalah volume larutan total, dan M_2 adalah konsentrasi yang diinginkan.

3.5.4 Sterilisasi Alat dan Bahan

Sterilisasi merupakan suatu proses yang dilakukan untuk membebaskan bahan atau alat dari semua bentuk organisme hidup. Sterilisasi dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan alat yang digunakan, yaitu sterilisasi basah dan kering. Sterilisasi basah dilakukan untuk bahan yang mengandung air seperti media atau larutan lainnya dengan menggunakan alat *autoclave* sedangkan untuk sterilisasi kering dilakukan pada peralatan seperti cawan petri, tabung reaksi dan lain-lain dengan menggunakan oven. Sterilisasi pada alat dilakukan dengan menggunakan metode panas kering dengan diovenkan selama 2 jam pada suhu 180°C. Peralatan yang dilakukan steril dengan menggunakan oven berupa cawan petri yang digunakan sebagai wadah media. Peralatan seperti jarum ose, batang kaca, pinset dilakukan steril dengan cara pembakaran (*flaming*) dengan menggunakan bunsen. Bagi alat-alat yang terbuat dari bahan plastik dilakukan sterilisasi secara panas lembab dengan menggunakan *autoclave* selama 15 menit pada suhu 121°C dengan tekanan 15psi. Akuades, NaCl, dan PDA disterilkan dengan menggunakan *autoclave*.

3.5.5 Pembuatan Media PDA

Pembuatan media PDA dilakukan dengan menggunakan metode Mukharomah (2017) yang dimodifikasi. Proses isolasi pada jamur dilakukan dengan menggunakan media agar PDA yang dilarutkan dengan menggunakan akuades dengan perbandingan bahan yang digunakan yaitu 39 gram agar PDA dan ditambahkan 1 liter akuades untuk membuat 1 liter media. Media agar PDA yang akan dibuat dimasukkan ke dalam erlenmayer serta ditambahkan akuades sesuai dengan kebutuhan. Kemudian media dipanaskan dan diaduk dengan menggunakan alat *Hotplate* serta *Magnetic Stirrer* hingga larut. Selanjutnya media disterilisasi menggunakan *Autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya media dituang ke dalam cawan petri sebanyak 15 ml di dalam *Laminar Air Flow*. Serta ditambahkan 75, 100, 150 dan 200 ppm logam berat Ni.

3.5.6 Isolasi dan Identifikasi Mikroba Fungi Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Isolasi mikroba dilakukan dengan menggunakan sampel sedimen yang telah melalui proses pengenceran sampel sedimen sesuai dengan Putri dkk (2017) yang dimodifikasi. Pengenceran dilakukan dengan menggunakan metode bertingkat 10^{-1} sampai 10^{-6} . Sampel sedimen diencerkan dengan cara menambahkan NaCl steril 0,9% dengan perbandingan 1 gram sedimen : 9 ml NaCl dihomogenkan menggunakan vortex dengan kecepatan 150 rpm. Sampel sedimen yang telah diencerkan tersebut diambil sebanyak 1 ml untuk dilakukan isolasi dengan cara sebar (*Spread Plate*) menggunakan batang L pada media PDA.

Media yang telah diinokulasi, diinkubasi selama 72 jam atau lebih pada suhu 30°C (Rose dan Devi, 2018). Pengamatan pertumbuhan isolat jamur dilakukan setelah 72 jam inkubasi. Isolat yang terpilih diidentifikasi dan karakterisasi berdasarkan bentuk makroskopis pada media dan bentuk mikroskopisnya menggunakan mikroskop.

Identifikasi isolat dilakukan dengan menggunakan panduan taksonomi dan prosedur standar. Setiap koloni jamur yang telah tumbuh pada media diambil dan dipisahkan berdasarkan bentuk koloni, permukaan, tepian, ukuran serta warna koloni pada bagian permukaan atas dan bawah media, untuk memperoleh isolat tunggal *Aspergillus* sp. Setiap isolat murni disimpan dalam stok agar sebagai kultur stok murni serta disimpan pada suhu 4°C (Rose dan Devi, 2018).

3.5.7 Peremajaan Fungi *Aspergillus* sp.

Setiap koloni fungi yang tumbuh pada media PDA lama yang disimpan pada lemari es dikultur ke cawan petri yang berisi media PDA baru. Cawan petri yang berisi media PDA baru yang telah diinokulasi diinkubasi selama 3 hari untuk diperoleh isolat fungi yang benar-benar murni tanpa ada kontaminasi dengan mikroba fungi lain, untuk selanjutnya dapat dilakukan uji toleransi.

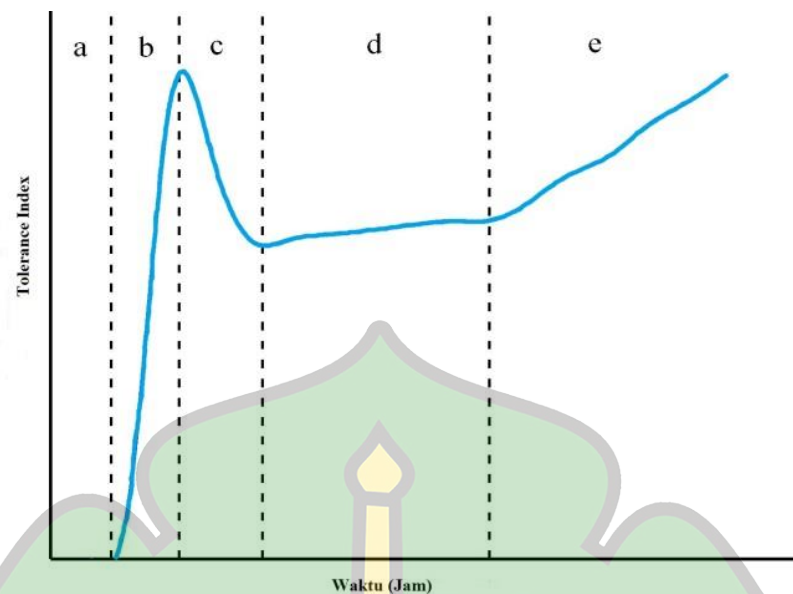
3.5.8 Uji Toleransi *Aspergillus sp.* Terhadap Logam Berat Nikel (Ni)

Isolat fungi yang telah dimurnikan dilakukan uji toleransi terhadap logam Ni, fungi yang telah tumbuh diinokulasikan pada media PDA yang telah diberikan suplemen logam berat Ni dengan konsentrasi 75, 100, 150, dan 200 ppm (Lampiran 2). Uji toleransi dilakukan dengan cara miselium fungi berdiameter 6 mm disk yang berumur 3 hari diinokulasi secara aseptik, dan dipindahkan pada bagian tengah media PDA yang telah diberikan logam Ni dengan konsentrasi sebesar 75, 100, 150 dan 200 ppm, serta pada media PDA tanpa logam sebagai kontrol, untuk selanjutnya dapat di inkubasi pada suhu 30°C selama 96 jam, dan pertumbuhan miselium diukur diameternya setiap hari menggunakan penggaris.

Potensi toleransi logam berat fungi pada media uji dihitung dengan cara mengaitkannya dengan pertumbuhan fungi pada media uji. Toleransi logam berat fungi dinilai dengan: 0.00-0.39 (toleransi sangat rendah), 0.40-0.59 (toleransi rendah), 0.60-0.79 (toleransi sedang), 0.80-0.99 (toleransi tinggi) dan 1.00-> (toleransi sangat tinggi), semakin tinggi nilai indeksnya semakin tinggi pula tingkat toleransi jamur terhadap logam berat. Nilai indeks toleransi fungi terhadap logam dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Oladipo dkk., 2018):

$$Tolerance\ Index(TI) = \frac{\text{Pertumbuhan fungi (mm) pada media yang mengandung logam berat}}{\text{Pertumbuhan fungi (mm) pada media tanpa logam berat}} \quad (3.3)$$

A R - R A N I R Y



Gambar 3.4 Lima fase pola pertumbuhan fungi terpapar logam
(Sumber: Rose dan Devi, 2018)

Menurut Rose dan Devi (2018) lima fase pola pertumbuhan fungi dibawah paparan logam berat terbagi pada (a) fase lag, yaitu fase dimana tidak terjadi pertumbuhan atau pertumbuhan yang terjadi sangat sedikit, (b) fase pertumbuhan cepat atau pertumbuhan awal yang sangat cepat, (c) fase kematian merupakan fase terjadinya penurunan pertumbuhan, (d) fase serupa atau stasioner merupakan fase tidak adanya perbedaan pertumbuhan pada fungi dengan dan tanpa logam, (e) fase pertumbuhan yang ditingkatkan atau dipercepat merupakan fase yang pertumbuhan fungsinya sering kali melebihi kontrol.

3.6 Analisis Data

Analisis data eksperimen dilakukan dengan menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) untuk menganalisis data statistik. Analisis Varians (ANOVA) digunakan untuk mengetahui perbedaan rerata pertumbuhan isolat jamur toleran Ni yang signifikan terhadap kontrolnya, diikuti pula dengan uji *Tukey Honesrly Significant Difference* (HSD) untuk menentukan isolat yang menunjukkan perbedaan rerata pertumbuhan yang signifikan (Manguilimotan dan Bitacura, 2018).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Karakteristik Fungi *Aspergillus* sp. Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil pengukuran fisika kimia, diperoleh karakteristik fisika kimia air Sungai Krueng Aceh pada stasiun pengambilan sampel sedimen yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik fisika kimia air pada Sungai Krueng Aceh

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	pH	7,1	
2	TDS (<i>Total Dissolve Solid</i>)	183	mg/L
3	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	100	mg/L
4	DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	11,1	mg/L
5	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	259	mg/L

Hasil isolasi fungi *Aspergillus* sp. dari sedimen Sungai Krueng Aceh diperoleh 5 Isolat yang berhasil diidentifikasi secara makroskopis maupun morfologi mikroskopisnya Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karakteristik morfologi fungi isolasi sedimen Sungai Krueng Aceh

Kode Isolat	Karakteristik Makroskopis	Karakteristik Mikroskopis	Genus
FS*-01	Jamur membentuk warna coklat kekuningan, koloni bertekstur beludru di media.	Konidiospora berwarna coklat pucat, berbentuk tegak dan jarang bercabang. Memiliki kepala konidia berbentuk silinder atau clavate .	<i>Aspergillus</i> sp.
FS-02	Warna Koloni putih dan hitam, berbentuk bulat, dan permukaannya serbuk seperti butiran.	Konidiofor berwarna coklat, berbentuk tegak, berdinding tebal, dengan vesikel berbentuk bulat.	<i>Aspergillus</i> sp.
FS-03	Koloni membentuk warna coklat kekuningan, koloni bertekstur beludru di media.	Kepala konidia berbentuk silinder, dan konidiofor tidak bercabang.	<i>Aspergillus</i> sp.
FS-04	Koloni berwarna putih atau kuning dengan lapisan konidiospora tebal berwarna coklat gelap sampai hitam.	Konidia berbentuk bulat dan berwarna hitam, vesikel berbentuk bulat. Fialid terbentuk langsung dari metula, dan metula berbentuk bulat.	<i>Aspergillus</i> sp.
FS-05	Koloni bertekstur beludru pada media, dengan warna koloni coklat kekuningan.	Kepala konidia berbentuk silinder, dan konidiofor tidak bercabang.	<i>Aspergillus</i> sp.

*Fungi Sedimen

4.1.2 Kemampuan Toleransi *Aspergillus* sp. Terhadap Logam Ni Pada Variasi Konsentrasi

Pengukuran kemampuan toleransi *Aspergillus* sp. terhadap logam dapat diamati melalui dua hal, yaitu (a) pertumbuhan miselium *Aspergillus* sp. terhadap logam dan (b) nilai indeks toleransi logam *Aspergillus* sp. pada variasi konsentrasi.

4.1.2.1. Pertumbuhan Miselium *Aspergillus* sp. Terhadap Logam Ni

Berdasarkan pengukuran pertumbuhan *Aspergillus* sp. selama masa inkubasi 96 jam, diperoleh nilai rerata pertumbuhan *Aspergillus* sp. yang ditumbuhkan pada media dengan konsentrasi nikel 75, 100, 150 dan 200 ppm, serta media tanpa logam sebagai kontrol, dengan menggunakan uji statistik ANOVA satu arah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berdasarkan Tabel 4.3 dilakukan pengujian lanjut Tukey HSD (*Honest Significance Difference*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.3 Nilai rerata pertumbuhan (mm) *Aspergillus* sp. dalam variasi konsentrasi Ni inkubasi 96 jam pada uji ANOVA satu arah

Logam Berat	Genus Fungi	Konsentrasi (ppm)	Pengukuran Rata-rata \pm SE	Nilai <i>F</i>	Nilai <i>p</i>
Nikel	<i>Aspergillus</i> sp.	0	34,87 \pm 5,14 ^b	6,420	.001
		75	15,11 \pm 2,95 ^a		
		100	15,74 \pm 2,54 ^a		
		150	14,85 \pm 3,21 ^a		
		200	18,71 \pm 3,21 ^a		

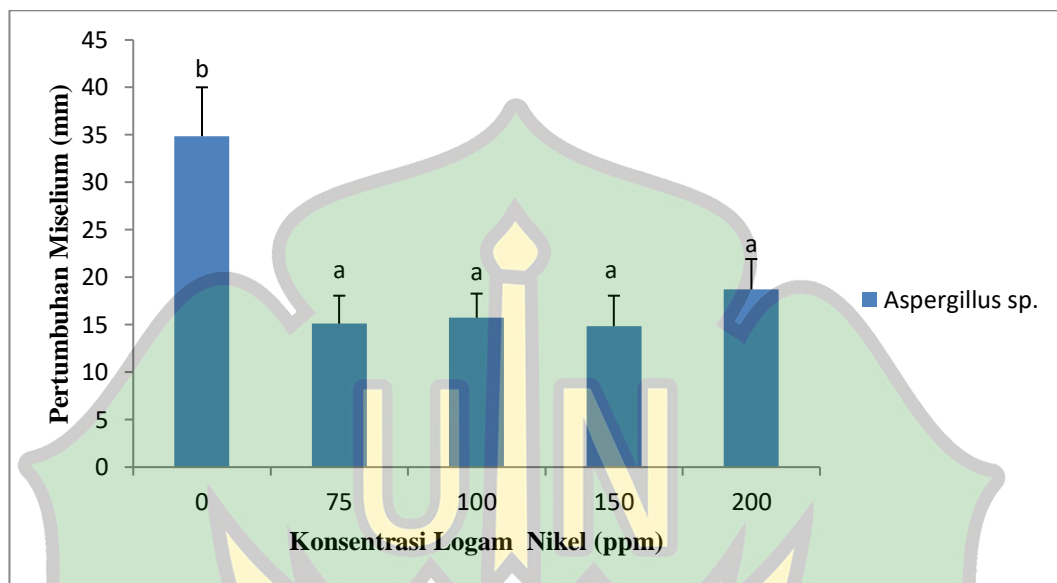
Nilai rerata \pm SE menunjukkan nilai pengulangan. Notasi huruf menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan pada sig 0.05 menurut uji Tukey HSD.

Tabel 4.4 Ringkasan uji Tukey HSD pertumbuhan *Aspergillus* sp.

Nilai Rata-rata Pertumbuhan <i>Aspergillus</i> sp. (mm)	Konsentrasi Ni				
	0 ppm	75 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm
0 ppm = 34,87	-	0,002*	0,003*	0,002*	0,14*
75 ppm = 15,11	0,002*	-	1,000	1,000	0,942
100 ppm = 15,74	0,003*	1,000	-	1,000	0,971
150 ppm = 14,85	0,002*	1,000	1,000	-	0,926
200 ppm = 18,71	0,14*	0,942	0,971	0,926	-

* Perbedaan nyata pada *p* 0,05

Berdasarkan Tabel 4.3 dan 4.4 diperoleh grafik pertumbuhan fungi *Aspergillus* sp. pada setiap konsentrasi dengan masa inkubasi 96 jam yang ditunjukkan pada Gambar 4.1



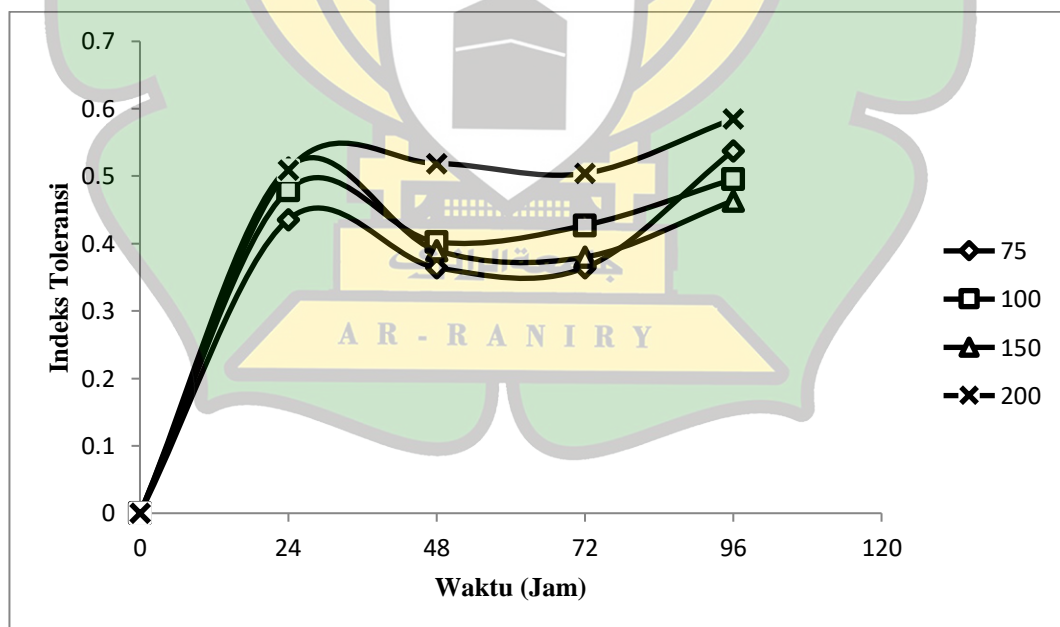
Gambar 4.1 Efek variasi logam nikel pada pertumbuhan *Aspergillus* sp. (mm) inkubasi 96 jam. Notasi huruf menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan pada sig 0.05. *Error bars* menunjukkan ualangan sebanyak 2 kali (Lampiran 3)

4.1.2.2. Indeks Toleransi *Aspergillus* sp. Pada Variasi Konsentrasi Nikel

Perhitungan indeks toleransi, merupakan indikasi bagaimana suatu organisme dalam mentolerir logam berat (Calvillo-medina, 2021), yang ditentukan dengan mengukur pertumbuhan koloni fungi pada setiap variasi konsentrasi logam. Indeks toleransi dihitung berdasarkan pengukuran pertumbuhan fungi yang terpapar logam berat pada konsentrasi yang berbeda dan dibagi dengan pertumbuhan fungi kultur kontrol. Nilai indeks toleransi *Aspergillus* sp terhadap variasi konsentrasi nikel ditunjukkan pada Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh grafik pertumbuhan *Aspergillus* sp. berdasarkan nilai indeks toleransi yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.5 Nilai indeks toleransi *Aspergillus* sp. pada variasi nikel

Waktu Inkubasi	Konsentrasi Logam (ppm)	Indeks Toleransi
24 Jam	75	0,44
	100	0,36
	150	0,36
	200	0,54
48 Jam	75	0,48
	100	0,40
	150	0,43
	200	0,50
72 Jam	75	0,51
	100	0,39
	150	0,38
	200	0,46
96 Jam	75	0,51
	100	0,52
	150	0,50
	200	0,58

**Gambar 4.2** Pertumbuhan *Aspergillus* sp. berdasarkan indeks toleransi pada variasi konsentrasi nikel

4.2 Pembahasan

4.2.1 Karakteristik Fungi *Aspergillus* sp. Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Tabel 4.1 menunjukkan hasil analisis fisika kimia air pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Krueng Aceh. Nilai pH yang diperoleh yaitu 7,1 yang masih berada pada batas baku mutu nilai pH bagi air kelas III sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, yaitu dengan nilai pH 6-9. Nilai TDS dan TSS dengan masing-masing nilainya sebesar 183 mg/L dan TSS 100 mg/L juga tidak melewati batas baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan PP Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 1000 mg/L dan 400 mg/L. Menurut PP Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, nilai minimum DO bagi air kelas III adalah 3 mg/L dan nilai standar baku mutu bagi COD adalah 50 mg/L. Berdasarkan Tabel 4.1 nilai DO yang diperoleh yaitu 11,1 mg/L yang mana nilai tersebut tidak kurang dari nilai minimum yang ditetapkan, sedangkan nilai COD yang diperoleh yaitu 259 mg/L melebihi nilai baku mutu yang telah ditetapkan pada PP Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Secara keseluruhan, parameter fisika kimia air pada titik pengambilan sampel di Sungai Krueng Aceh tinggi akan polutan organik.

Faktor lingkungan berperan penting dalam mengatur struktur dan keragaman komunitas mikroba. *Aspergillus* sp. merupakan fungi berfilamen, oleh karena itu faktor ekstrinsik seperti suhu, air, pH dan komponen gas berpengaruh besar terhadap pertumbuhannya (Smith, 1994). Pertumbuhan fungi dapat dipengaruhi oleh 'Konsentrasi ion hidrogen' (pH) pada media tumbuhnya, baik secara langsung melalui permukaan selnya, ataupun secara tidak langsung dikarenakan efeknya pada ketersediaan nutrisi (Ortiz-vera dkk., 2018). Kebutuhan asam/basa bagi pertumbuhan jamur dapat dimulai dari pH 3,0 sampai lebih dari pH 8,0, dengan pH optimumnya sekitar pH 5,0 bila kebutuhan nutrisinya terpenuhi. Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai pH air pada stasiun pengambilan sampel bernilai 7,1 dan nilai DO sebesar 11,1 mg/L. Secara umum *Aspergillus* sp. lebih toleran terhadap pH basa. Lingkungan yang netral dan

memiliki tingkat asam yang lemah cocok untuk pertumbuhan miselium, dengan pH optimum 5,0 – 7,0 dan pH 5,0 - 8,0, untuk pertumbuhan konidia (Abubakar dkk., 2013). *Aspergillus* sp. merupakan mesofil *non fastidious* yang dapat tumbuh di berbagai lingkungan. *Aspergillus* sp. merupakan organisme aerobik obligat dan umumnya tumbuh dalam kondisi aerobik, meskipun pertumbuhan konidia dapat terjadi pada tingkat oksigen yang rendah (Smith, 1994). Pada penelitian sebelumnya oleh Ayo dan Arotupin (2017)

Identifikasi isolat terpilih dilakukan dengan cara pengamatan fungi secara makroskopik dan mikroskopik, untuk selanjutnya dapat dibandingkan dengan literatur. Pemilihan isolat untuk uji toleransi logam nikel dilakukan dengan memilih satu isolat yang pertumbuhannya paling pesat diantara isolat lainnya, yang berjumlah satu isolat FS-02 (Gambar 4.3). Secara makroskopik terlihat bahwa koloni berbentuk *circular* (bulat), dengan tepi koloninya berbentuk *circular* (bulat), dan pola pertumbuhannya menyebar dengan elevasi *convex* (cembung). Permukaan fungi berwarna putih atau kuning dan lapisan konidiosporanya berwarna coklat kehitaman jika dilihat dari permukaan atas, dan berwarna putih kekuningan jika dilihat dari permukaan bawah. Fungi tersebut memiliki tekstur lembut dan seperti terdapat butiran pada bagian atas permukaan, dan bertekstur kerut pada bagian permukaan bawah.



(a)

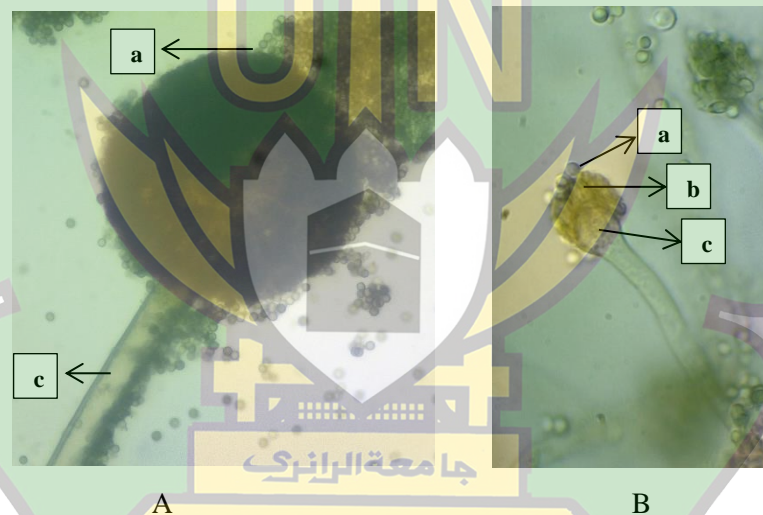
(b)

Gambar 4.3 Hasil pengamatan struktur makroskopik isolat terpilih FS-02 isolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh (a: tampak atas, b: tampak bawah)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022)

Identifikasi secara mikroskopik dilakukan dengan menggunakan mikroskop perbesaran 40x. Secara mikroskopik terlihat tangkai konidia (konidiofor) berwarna hijau, tidak bercabang. Pada ujung konidiofor terdapat konidia bersel tunggal yang berwarna hitam kehijauan berbentuk bulat, serta memiliki dinding yang tebal (Gambar 4.4(a)).

Kepala konidia (vesikel) berwarna hijau kehitaman dan berbentuk *clavate* (gada) (Gambar 4.4(b)). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa fungi dengan kode isolat FS-02 termasuk dalam fungi genus *Aspergillus* sp. Menurut Barnett dan Hunter (1998), genus *Aspergillus* sp. memiliki konidiofor yang tegak yang pada ujungnya membesar membentuk *globose* (bundar) ataupun *clavate* (gada), serta konidianya yang bersel tunggal.



Gambar 4.4 Struktur mikroskopik isolat FS-02, (A) hasil pengamatan struktur mikroskopik isolat FS-02 pada perbesaran 40x (a. konidia dan b. konidiofor), (B) hasil pengamatan struktur mikroskopik isolat FS-02 (a. konidia, b. fialid dan c. vesikel)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022)

Menurut Schlegel dkk (1993), *Aspergillus* sp. mempunyai karakteristik hifa yang berseptat dan miselium yang bercabang, sedangkan hifa yang muncul dari atas permukaan merupakan hifa fertil. Konidioforanya bersekat dan tidak bersekat yang muncul dari sel kaki fungi. Pada ujung sterigma terdapat konidium-

konidium yang tersusun berurutan menyerupai untaian mutiara (Gambar 4.4(B)). Konidium-konidium ini menyebabkan terjadinya muncul warna tertentu pada fungi, dikarenakan konidia dapat berwarna hitam, kuning tua, hijau ataupun coklat. Pada media PDA, koloni berbentuk bulat, berwarna hijau terang samapai hijau gelap, coklat dan hitam. Secara mikroskopik, konidia berbentuk bulat dengan hifa bersepta (Barnett dan Hunter, 1998).

4.2.2 Kemampuan Toleransi *Aspergillus* sp. Terhadap Logam Ni Pada Variasi Konsentrasi

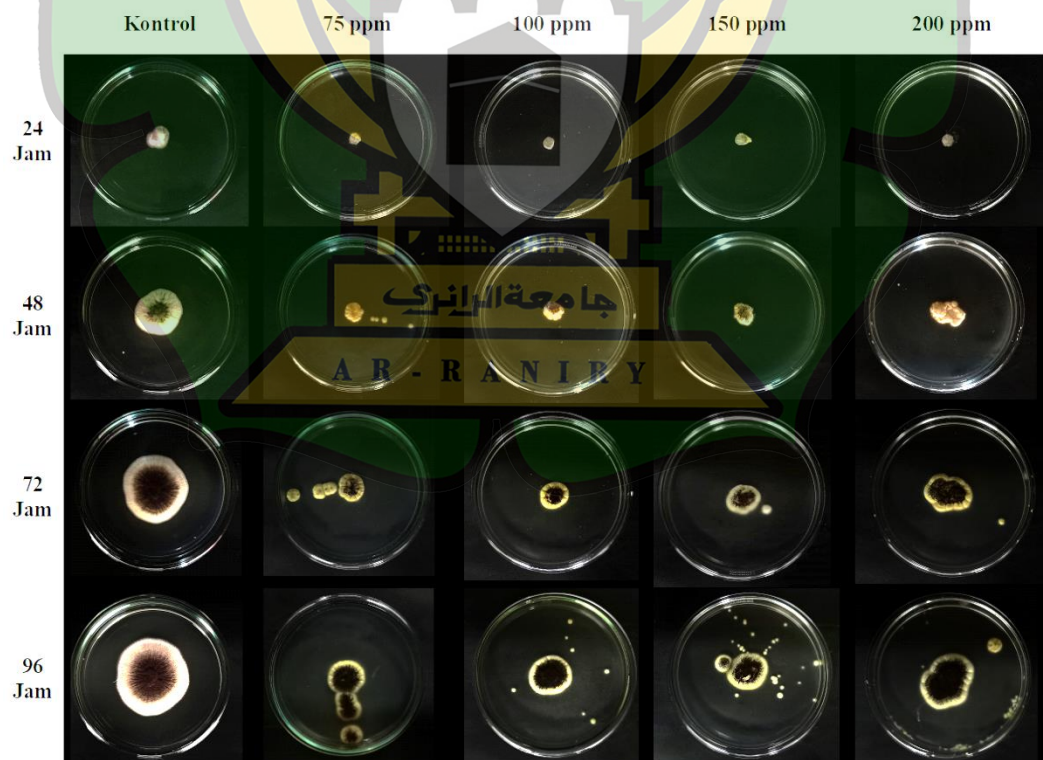
4.2.2.1. Kemampuan Pertumbuhan Miselium *Aspergillus* sp. Terhadap Logam Ni

Pertumbuhan miselium *Aspergillus* sp. terhadap logam nikel pada konsentrasi 75, 100, 150, dan 200 ppm secara statistik bernilai signifikan ($p < 0,05$) terhadap kontrol yang diinkubasi selama 96 jam (Tabel 4.3). Berdasarkan uji tersebut menunjukkan bahwa adanya pengaruh konsentrasi Ni terhadap pertumbuhan miselium *Aspergillus* sp. Hal ini membuktikan bahwa konsentrasi Ni 75, 100, 150, dan 200 ppm pada media PDA mempengaruhi pertumbuhan fungi *Aspergillus* sp. Hasil Uji Tukey HSD nilai rata-rata pertumbuhan miselium pada *Aspergillus* sp. menunjukkan adanya perbedaan secara nyata ($p < 0,05$) terhadap media kontrol dan yang diberi perlakuan (Tabel 4.3). Berdasarkan Tabel 4.4 *Aspergillus* sp. yang terpapar dengan variasi konsentrasi Ni secara statistik tidak signifikan ($p > 0,05$), yaitu tidak adanya perbedaan pada pertumbuhan antara konsentrasi satu dan yang lainnya dibandingkan dengan pertumbuhan pada kontrol.

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pola pertumbuhan *Aspergillus* sp. pada media kontrol terjadi pertumbuhan miselium dengan pesat sepanjang masa inkubasi, yaitu selama 96 jam. Pada masing-masing konsentrasi 75, 100, 150 dan 200 ppm, terjadi pertumbuhan yang tidak begitu besar dibandingkan dengan kontrolnya. Terjadi penghambatan pertumbuhan miselium *Aspergillus* sp. pada konsentrasi 75, 100, 150 dan 200 ppm selama masa inkubasi

96 jam. Logam berat esensial dapat menghambat pertumbuhan fungi, dan mengakibatkan perubahan secara morfologis dan fisiologis. Logam berat mempengaruhi pertumbuhan hifa, morfologi dan sporulasinya (Liu dkk., 2018).

Pada penelitian ini, perubahan morfologi koloni *Aspergillus* sp. akibat paparan logam Ni lebih menonjol pada konsentrasi logam yang lebih tinggi (Gambar 4.5). Pada media dengan konsentrasi 100, 150 dan 200 ppm dan waktu inkubasi 96 jam terdapat koloni-koloni kecil dan terpisah, koloni ini masing-masing berwarna putih kekuningan. Pada media kontrol, koloni *Aspergillus* sp. tumbuh lebih besar dibandingkan dengan yang diberikan perlakuan, serta warna tepian koloni berwarna putih. *Aspergillus* sp. yang diberi logam Ni pada medianya memiliki tepian koloni yang berwarna putih kekuningan. Efek toksisitas logam berat yang paling terlihat adalah terjadinya perubahan pertumbuhan miselium dan gangguan morfologi miselium pada fungi. Logam berat juga dapat memicu perubahan viabilitas dan sporulasi mikroorganisme (Gajewska dkk., 2022).



Gambar 4.5 Pertumbuhan fungi pada media logam Ni dengan variasi konsentrasi

Dibawah paparan logam, perubahan yang terjadi pada morfologi koloni *Aspergillus* sp. yang paling menonjol terlihat pada media dengan konsentrasi logam diatas 100 ppm. Produksi pigmen menunjukkan pengendapan ion logam pada dinding sel jamur, dan perubahan warna yang terjadi pada dinding sel jamur disebabkan oleh penyerapan logam (Liaquat dkk., 2020). Mekanisme toleransi fungi terhadap logam berat dapat berupa pelepasan enzim intraseluler dan ekstraseluler, presipitasi ekstra dan intraseluler, pengikatan logam pada dinding sel dan transformasi (Mohammadian dkk., 2017).

4.2.2.2. Indeks Toleransi *Aspergillus* sp. Pada Variasi Konsentrasi Nikel

Pola pertumbuhan merupakan indeks pengukuran untuk menentukan respon/kelangsungan hidup mikroba, terutama pada lingkungan yang terkontaminasi ataupun tercemar polutan (Oladipo dkk., 2016). Pengaruh konsentrasi logam berat yang berbeda terhadap pertumbuhan jamur dinyatakan dalam indeks toleransi (TI). Nilai TI yang lebih besar dari satu menunjukkan sifat jamur yang tahan atau toleran, dan nilai TI yang lebih rendah dari satu menunjukkan sifat jamur yang rentan atau tidak toleran terhadap logam berat tertentu dan konsentrasinya. Tingkat pertumbuhan dan kematian fungi diukur dari kemiringan (slope) indeks toleransi terhadap waktu (Gambar 3.3). Laju pertumbuhan pada fase (b) dan laju kematian pada fase (c) berhubungan dengan indeks toleransi yang dikembangkan pada fase (d) (Rose dan Devi, 2018).

Berdasarkan Gambar 4.2 TI pada waktu 0 dan 24 jam masih berada pada fase lag, yaitu fase dimana belum terjadi pertumbuhan dan pertumbuhan yang terjadi pada waktu 24 jam masih sedikit. Hal ini membuktikan bahwa keberadaan logam berat dapat menghambat pertumbuhan miselium fungi, dikarenakan nilai TI pada fase pertumbuhan disaat yang sama kurang dari 1. Pada konsentrasi logam 75, 100, 150 dan 200 ppm, isolat *Aspergillus* sp. tidak sepenuhnya dapat beradaptasi, dikarenakan nilai TI pada fase pertumbuhan stasioner (fase d) berada di bawah angka satu, yaitu sebesar 0,51, 0,52, 0,50, dan 0,54 serta pola pertumbuhan tidak dapat mengikuti karakteristik pertumbuhan lima fase. Pada

masing-masing variasi konsentrasi Ni pertumbuhan *Aspergillus* sp. memiliki perilaku adaptif yang serupa dan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Pada penelitian ini *Aspergillus* sp. yang diteliti tidak menunjukkan toleransinya terhadap Ni dalam konsentrasi yang tinggi. Namun, tidak berarti bahwa *Aspergillus* sp. tidak dapat mentolerir logam berat dalam konsentrasi yang tinggi (Anahid dkk., 2011). Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Rose dan Devi (2018), yang menunjukkan bahwa *Aspergillus awamori* tidak sepenuhnya dapat beradaptasi terhadap logam Ni pada konsentrasi 200 mg/L, dan nilai indeks toleransinya pada fase pertumbuhan stasioner (d) tetap bernilai <1 serta pola pertumbuhannya tidak mengikuti karakteristik pertumbuhan lima fase.

Semua logam, baik esensial dan nonesensial pada tingkatan konsentrasi tertentu menyebabkan toksisitas terhadap mikroorganisme. Tingkat toksisitas pada logam ditentukan oleh jenis isolat dan lokasi isolasinya. Setiap isolat berperilaku berbeda terhadap logam berat yang berbeda. Beberapa isolat sangat toleran, sementara yang lain sensitif dan tidak dapat bertahan hidup pada konsentrasi logam yang sangat rendah sekalipun (Muñoz dkk., 2012). Pada penelitian ini, Ni berperan sebagai logam yang toksik terhadap isolat *Aspergillus* sp. yang diuji. Lokasi yang terkontaminasi tidak hanya terkontaminasi oleh satu logam berat saja, ketidakseragaman polutan ini berpengaruh terhadap isolat yang dipengaruhi oleh logam berat beracun atau oleh gabungan logam berat yang berbeda (Rose dan Devi, 2018).

Meskipun memiliki nilai TI yang rendah pada fase (d), *Aspergillus* sp. menunjukkan kemampuan toleransi Ni hingga 200 ppm pada percobaan akhir adaptasi (Gambar 4.5). Hal ini didukung pula oleh penelitian Congeevaram dkk., (2007) yang menemukan bahwa *Aspergillus* sp. dapat resisten pada konsentrasi nikel hingga 500 ppm, dan pada penelitian lainnya juga ditemukan bahwa *Aspergillus niger* dapat menoleransi logam nikel hingga 1000 ppm (Juan dkk., 2018).

Bioremediasi mikroba merupakan metode penggunaan mikroorganisme sebagai pengurai polutan lingkungan dan mengubahnya menjadi kurang berbahaya melalui proses redoks. Tingkat toleransi fungi terhadap suatu polutan cukup penting diketahui untuk dapat menggunakan fungi sebagai biosorben. Khususnya, fungi yang diisolasi dari daerah yang terkontaminasi, menunjukkan tingkat toleransinya yang lebih tinggi daripada fungi lain (Candan, 2021). Dalam penelitian ini, isolat *Aspergillus* sp. berpotensi digunakan sebagai kandidat agen bioremediasi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan dari sebagai berikut:

1. Karakteristik *Aspergillus* sp. isolasi dari sedimen Sungai Krueng Aceh secara makroskopis memiliki ciri morfologi koloni berbentuk bulat, berwarna putih pada tepinya dan berwarna coklat kehitaman pada bagian tengahnya, serta permukaan atasnya bertekstur seperti beludru pada media. Secara mikroskopis *Aspergillus* sp. memiliki konidiofor berwarna coklat, tidak bercabang, serta memiliki kepala konidia yang berbentuk silinder atau clavate dan vesikel berbentuk bulat.
2. Isolat *Aspergillus* sp. memiliki kemampuan toleransi logam pada konsentrasi Ni tertinggi (200 ppm) berdasarkan pengamatan secara makroskopik. *Aspergillus* sp. memiliki indeks nilai toleransi yang rendah, yaitu < 1 .

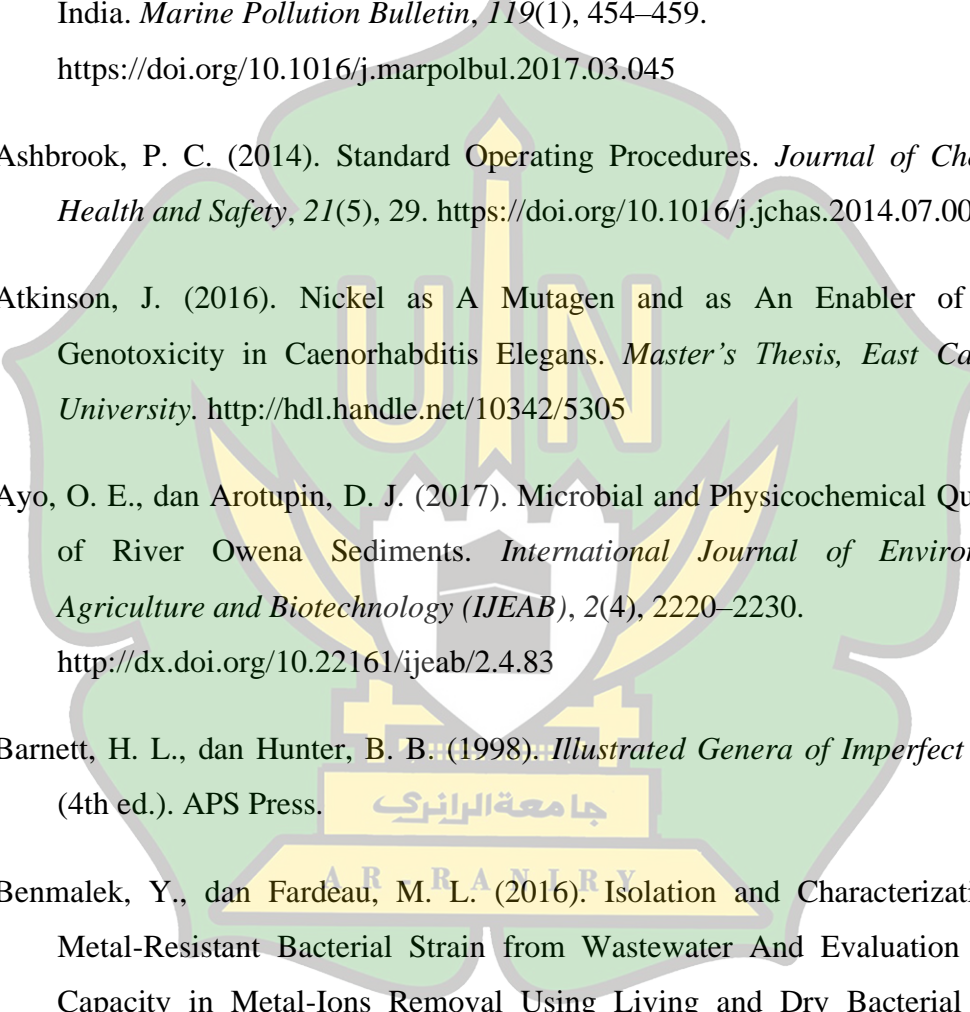
5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan identifikasi terlebih dahulu jenis *Aspergillus* sp. dengan uji biokimia yang lebih lengkap untuk dapat mengkonfirmasi hasil dari identifikasi secara makroskopik dan mikroskopik.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengoptimasi pertumbuhan *Aspergillus* sp. dari pengaruh pH, suhu dan waktu kontak.
3. Perlu dilakukannya penambahan pengujian logam terhadap fungi dengan menggunakan jenis logam yang lebih variatif

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A., Suberu, H. A., Bello, I. M., Abdulkadir, R., Daudu, O. A., dan Lateef, A. A. (2013). Effect of pH On Mycelial Growth and Sporulation of *Aspergillus parasiticus*. *Journal of Plant Science*, 1(4), 64–67. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20130104.13>
- Adhani, R., dan Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia* (S. Kholishotunnisa (Ed.)). Lambung Mangkurat University Press.
- Ahalya, N., Ramachandra, T. V, dan Kanamadi, R. . (2003). Biosorption of Heavy Metals. *Research Journal Of Chemistry And Environment*, 7(4), 71–79. <https://doi.org/10.1002/0470050594.ch11>
- Alves, M. A. P. M. S., Silva, S. C., Silva, S. Y. S., Junior, J. B. P., Marinho, P. S. B., Dantas, K. das G. F., Da Mota, S. A. P., Amaral, J. C., Da Silva, M. F. G. F., dan Oliveira, M. N. (2020). Biosorption Potential Of The *Aspergillus* sp. And Insights Into Secondary Metabolism In the Presence Of Copper And Lead. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(3), 574–579.
- Amadi, Chikadibia, F., Roseline, E., Osere, Hannah, Nwisah, dan Laurretta. (2018). Concentrations of Nickel in Sediment and Periwinkle of Eagle Island River , Port Harcourt. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 1(4), 1–5. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2018/v1i426106>
- Anahid, S., Yaghmaei, S., dan Ghobadinejad, Z. (2011). Heavy Metal Tolerance of Fungi. *Scientia Iranica*, 18(3), 502–508. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.015>
- Andriani, D., Ruliati, dan Wati, L. S. (2019). Identifikasi Jamur *Aspergillus* sp Pada Kacang Hijau (Studi di Pasar Peterongan). *Disertasi Stikes Insan Cendekia Medika Jombang*.

- Aris, M., dan Tamrin, T. (2020). Heavy Metal (Ni, Fe) Concentration in Water and Histopathological of Marine Fish in the Obi Island, Indonesia. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 8(2), 221. <https://doi.org/10.35800/jip.8.2.2020.30673>
- Arulkumar, A., Paramasivam, S., dan Rajaram, R. (2017). Toxic Heavy Metals in Commercially Important Food Fishes Collected from Palk Bay, Southeastern India. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 454–459. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.045>
- Ashbrook, P. C. (2014). Standard Operating Procedures. *Journal of Chemical Health and Safety*, 21(5), 29. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2014.07.006>
- Atkinson, J. (2016). Nickel as A Mutagen and as An Enabler of EMS Genotoxicity in *Caenorhabditis Elegans*. *Master's Thesis, East Carolina University*. <http://hdl.handle.net/10342/5305>
- Ayo, O. E., dan Arotupin, D. J. (2017). Microbial and Physicochemical Qualities of River Owena Sediments. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2(4), 2220–2230. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.83>
- Barnett, H. L., dan Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (4th ed.). APS Press. 
- Benmalek, Y., dan Fardeau, M. L. (2016). Isolation and Characterization of Metal-Resistant Bacterial Strain from Wastewater And Evaluation of Its Capacity in Metal-Ions Removal Using Living and Dry Bacterial Cells. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(9), 2153–2162. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1048-6>
- Brooks, G. F., Carroll, K. C., Butel, J. S., Morse, S. A., dan Mietzner, T. A. (2013). *Jawetz, Melnick and Adelberg, s medical microbiology, 26th edn*. The McGraw-Hill Companies: USA.

- Calvillo-medina, R. P. (2021). Determination of Fungal Tolerance Index to Heavy Metals and Heavy Metal Resistance Test. *Bio-Protocol*, 11, 1–7. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.4218>
- Candan, E. D. (2021). Heavy Metal Tolerance Potential of *Aspergillus alliaceus* Isolated from A Green Turtle Nesting Site. *BEU Journal of Science*, 10(1), 49–56. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.830337>
- Congeevaram, S., Dhanarani, S., Park, J., Dexilin, M., dan Thamaraiselvi, K. (2007). Biosorption of Chromium and Nickel by Heavy Metal Resistant Fungal and Bacterial Isolates. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.017>
- Correia, L., Marrocos, P., Montalván Olivares, D. M., Velasco, F. G., Luzardo, F. H. M., dan Mota de Jesus, R. (2018). Bioaccumulation of Nickel in Tomato Plants: Risks to Human Health and Agro-Environmental Impacts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6), 317. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6658-7>
- 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), 71. <https://doi.org/10.14203/oldi.2019.v4i2.244>
- Fatimah, N., Prasetya, A. T., dan Sumarni, W. (2014). Penggunaan Silika Gel Terimobilisasi Biomassa *Aspergillus Niger* untuk Adsorpsi Ion Logam Fe(III). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(3), 183–187. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Gadd, G. M. (2009). Biosorption: Critical Review of Scientific Rationale, Environmental Importance and Significance for Pollution Treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(1), 13–28.
<https://doi.org/10.1002/jctb.1999>
- Gajewska, J., Wieczorek, J. F., Nowicka, E. S., Mattoo, A., dan Jelonek, M. A. (2022). Fungal and Oomycete Pathogens and Heavy Metals : An Inglorious Couple in The Environment. *IMA Fungus*, 6, 1–20.
<https://doi.org/10.1186/s43008-022-00092-4>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., dan Catalano, A. (2020). Nickel : Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390%2Fijerph17030679>
- 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. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir Dan Perikanan*, 7(2), 91–99. <https://doi.org/10.13170/depik.7.2.8606>
- Hakim, F. (2020). Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh. *Skripsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Hernahadini, N., dan Chaerun, S. K. (2019). Identifikasi Morfologi Isolat Fungi Indigen Lahan Tercemar Logam Berat Untuk Bioremediasi Nikel, Cobalt Dan Krom VI. *JSTE*, 1(1), 92–96.
- Hin, J. A., Oste, L. A., dan Schmidt, C. A. (2010). *Guidance Document for Sediment Assessment*. Ministry of Infrastructure and the Environment - DG Water Ruud Teunissen.

- Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., dan Pugazhendhi, A. (2018). Biological Approaches to Tackle Heavy Metal Pollution: A Survey of Literature. *Journal of Environmental Management*, 217, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.077>
- Juan, F. C., Rodr, A. S., Oviedo, J. T., dan Mart, M. (2018). Bioremoval of Different Heavy Metals by the Resistant Fungal Strain *Aspergillus niger*. *Bioinorganic Chemistry and Application*, 2018, 7. <https://doi.org/10.1155/2018/3457196>
- Kumar, V., Shahi, S. K., dan Singh, S. (2018). *Bioremediation: An Eco-sustainable Approach for Restoration of Contaminated Sites BT - Microbial Bioprospecting for Sustainable Development*, November, 116–136. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0053-0_6
- Liaquat, F., Farooq, M., Munis, H., Haroon, U., Arif, S., Saqib, S., Zaman, W., Khan, A. R., Shi, J., Che, S., dan Liu, Q. (2020). Evaluation of Metal Tolerance of Fungal Strains Isolated from Contaminated Mining Soil of Nanjing, China. *Biology (Basel)*, 9(12), 469. <https://doi.org/10.3390/biology9120469>
- Lingkungan, B. P. D. (2014). *Laporan Lingkungan Hidup Provinsi Aceh Tahun 2014*. 92–97.
- Liu, P., Wei, M., Zhang, J., Wang, R., Li, B., dan Chen, Q. (2018). Changes in Mycelia Growth, Sporulation, and Virulence of *Phytophthora capsici* When Challenged by Heavy Metals (Cu^{2+} , Cr^{2+} and Hg^{2+}) Under Acid pH Stress. *Environmental Pollution*, 235, 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.100>
- Manguilimotan, L. C., dan Bitacura, J. G. (2018). Biosorption of Cadmium by Filamentous Fungi Isolated from Coastal Water and Sediments. *Journal of Toxicology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7170510>

- Michalak, I., Chojnacka, K., dan Witek-Krowiak, A. (2013). State Of The Art for The Biosorption Process - A Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170(6), 1389–1416. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0269-0>
- Mohammadian, E., Ahari, A. B., Arzanlou, M., Oustan, S., dan Khazaei, S. H. (2017). Tolerance to Heavy Metals in Filamentous Fungi Isolated From Contaminated Mining Soils in The Zanzan Province, Iran. *Chemosphere*, 185, 290–296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.022>
- Mukharomah, E. (2017). Identifikasi Dan Uji Potensi Kapang Lipolitik Sebagai Pembelajaran Ikuiri. *Bioilmi: Jurnal Pendidikan*, 3(2), 124–128. <https://doi.org/10.19109/bioilmi.v3i2.1404>
- Mukherjee, A. (2016). Chapter 15 - Role of *Aspergillus* in Bioremediation Process. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. 209-214. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00017-8>
- Mukhid, A. (2021). *Metodologi Penelitian Pendekatan Kuantitatif* (S. R. Wahyuningrum (Ed.)). CV. Jakad Media Publishing.
- Mukhsin, R., Mappigau, P., dan Tenriawaru, A. N. (2017). Pengaruh Orientasi Kewirausahaan Terhadap Daya Tahan Hidup Usaha Di Kota Makassar. *Jurnal Analisis*, 6(2), 188–193.
- Muñoz, A. J., Ruiz, E., Abriouel, H., Gálvez, A., Ezzouhri, L., Lairini, K., dan Espínola, F. (2012). Heavy Metal Tolerance of Microorganisms Isolated From Wastewaters: Identification and Evaluation of its Potential for Biosorption. *Chemical Engineering Journal*, 210, 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.007>

- Nguyen, T. T. T., Pangging, M., Bangash, N. K., dan Lee, H. B. (2020). Five New Records of the Family Aspergillaceae in Korea, *Aspergillus europaeus*, *A. pragensis*, *A. tennesseensis*, *Penicillium fluviserpens*, and *P. scabrosum*. *Mycobiology*, 48(2), 81–94. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1726563>
- Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. C., dan Maboeta, M. S. (2018). Heavy Metal Tolerance Traits Of Filamentous Fungi Isolated From Gold And Gemstone Mining Sites. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.bjbm.2017.06.003>
- Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Ezeokoli, O. T., Maboeta, M. S., Carlos, C., Ezeokoli, O. T., Maboeta, M. S., dan Bezuidenhout, C. C. (2016). Heavy Metal Tolerance Potential of *Aspergillus* Strains Isolated From Mining Sites. *Bioremediation Journal*, 20(4), 287–297. <https://doi.org/10.1080/10889868.2016.1250722>
- Ortiz-vera, M. P., Olchanheski, L. R., Gonçalves da silva, E., Rezende De Lima, F., Rocío del Pilar Rada Martinez, L., Inês Zanolli Sato, M., Jaffé, R., Alves, R., Ichiwaki, S., Padilla, G., dan Araújo, W. L. (2018). Influence of Water Quality on Diversity and Composition of Fungal Communities in A Tropical River. *Sci Rep* 8, 14799, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33162-y>
- Oyewole, O. A., Zobeashia, S. S. L. T., Oladoja, E. O., Raji, R. O., Odiniya, E. E., dan Musa, A. M. (2019). Biosorption Of Heavy Metal Polluted Soil Using Bacteria And Fungi Isolated From Soil. *SN Applied Sciences*, 1(857), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0879-4>
- Padua, J. C. De, Edison, T., dan Cruz, E. (2021). Isolation and Characterization of Nickel-Tolerant *Trichoderma* Strains from Marine and Terrestrial Environments. *Journal of Fungi*, 7(8), 591. <https://doi.org/10.3390/jof7080591>

- Pócsi, I. (2011). Toxic Metal/Metalloid Tolerance in Fungi—A Biotechnology-Oriented Approach BT - Cellular Effects of Heavy Metals. In *Cellular Effects of Heavy Metals* (hal. 31–58). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0428-2>
- Praja, R. N., dan Yudhana, A. (2017). Isolation and Identification of *Aspergillus* Spp from The Lungs of Native Chicken which Sell in Banyuwangi Market. *Jurnal Medik Veteriner*, 1(1), 6–11.
<https://doi.org/10.20473/jmv.vol1.iss1.2017.6-11>
- Putri, M. H., Sukini, dan Yodong. (2017). *Mikrobiologi*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Rathor, G., Chopra, N., dan Adhikari, T. (2014). Nickel as a Pollutant and its Management. *International Research Journal Of Environment Sciences*, 3(10), 94–98. ISSN 2319-1414.
- Rose, P. K., dan Devi, R. (2018). Heavy Metal Tolerance and Adaptability Assessment of Indigenous Filamentous Fungi Isolated from Industrial Wastewater and Sludge Samples. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 688–694. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.08.001>
- Rumhayati, B. (2019). *Sedimen Perairan: Kajian Kimiawi, Analisis, dan Peran*. Universitas Brawijaya Press.
<https://books.google.co.id/books?id=S77RDwAAQBAJ>
- Schlegel, H. G., Zaborosch, C., dan Kogut, M. (1993). *General Microbiology* (7th ed.). Cambridge University Press.
<https://books.google.co.id/books?id=DrHQtlbiunkC>
- Shahzad, B., Tanveer, M., Rehman, A., Cheema, S. A., Fahad, S., Rehman, S., dan Sharma, A. (2018). Nickel; Whether Toxic or Essential for Plants and Environment - A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 641–651.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.014>

Smith, J. E. (Ed.). (1994). *Aspergillus* (1st ed.). Springer New York.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2411-3>

Song, X., Fiatikenston, S. S., Kong, L., dan Zhao, J. (2017). Molecular Mechanisms of Nickel Induced Neurotoxicity and Chemoprevention. *Toxicology*, 392, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.10.006>

Suharno, dan Sancayaningsih, R. P. (2013). Fungi Mikoriza Arbuskula : Potensi Teknologi Mikorizoremediasi Logam Berat Dalam Rehabilitasi Lahan Tambang. *Bioteknologi*, 10(1), 37-48.
<https://doi.org/10.13057/biotek/c100104>



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan Stok $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Pembuatan larutan stok $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 4,47 gram $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml, dan siencerkan dengan akuades hingga 1000 ml.

$$\begin{aligned} \text{Gr} &= \frac{\text{BM NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{BA Ni} \times 1 \text{ gram}} \\ &= \frac{262.85}{58.69 \times 1 \text{ gram}} \\ &= 4.47 \text{ gram} \end{aligned}$$



Lampiran 2. Pembuatan Larutan Uji Toleransi

Pembuatan larutan uji toleransi sebesar 75, 100, 150, dan 200 mg/L berdasarkan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

V_1 = volume larutan stok yang digunakan M_1 = konsentrasi larutan stok

V_2 = volume larutan total M_2 = konsentrasi yang diinginkan

Perhitungan larutan uji toleransi sebesar 75, 100, 150, dan 200 mg/L sebagai berikut:

a. 75 mg/L

$$V_1 \times 1000 = 10 \text{ ml} \times 75 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ ml} \times 75 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$= 0,75 \text{ ml}$$

b. 100 mg/L

$$V_1 \times 1000 = 10 \text{ ml} \times 100 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ ml} \times 100 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$= 1 \text{ ml}$$

c. 150 mg/L

$$V_1 \times 1000 = 10 \text{ ml} \times 150 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ ml} \times 150 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$= 1,5 \text{ ml}$$

d. 200 mg/L

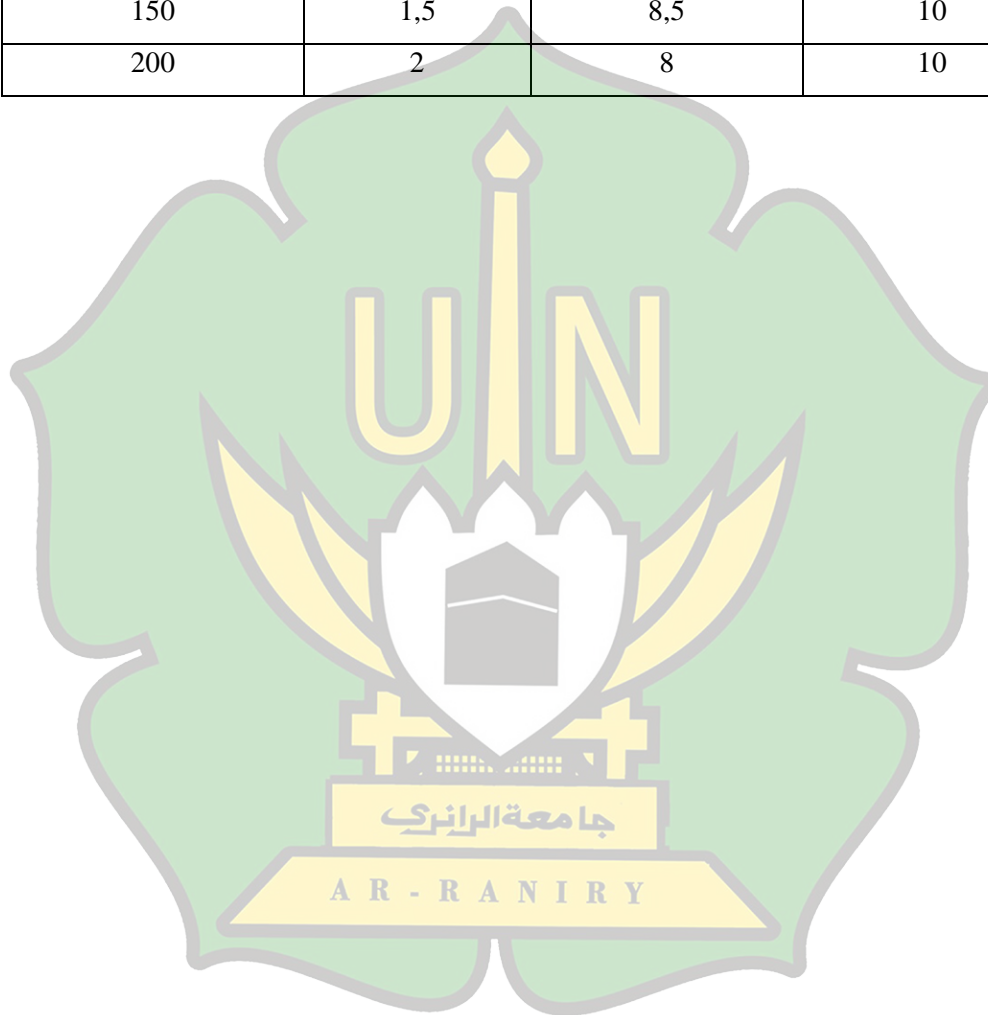
$$V_1 \times 1000 = 10 \text{ ml} \times 200 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ ml} \times 200 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$= 2 \text{ ml}$$

Tabel Ringkasan Perhitungan Pembuatan Larutan Uji Toleransi

Konsentrasi Larutan Logam (mg/L)	Volume Larutan Stok (ml)	Volume PDA (ml)	Volume Total (ml)
75	0,75	9,25	10
100	1	9	10
150	1,5	8,5	10
200	2	8	10



Lampiran 3. Hasil Pertumbuhan Fungi

Hasil pertumbuhan fungi selama 96 jam sebagai berikut:

Waktu Inkubasi	Konsentrasi Logam	Ukuran Koloni (mm)		
		Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
24 Jam	0	14,77	14,765	14,7675
	75	7,09	5,78	6,435
	100	6,41	7,745	7,0775
	150	8,46	6,675	7,5675
	200	6,495	8,53	7,5125
48 Jam	0	30,565	30,065	30,315
	75	10,445	11,645	11,045
	100	10,94	13,465	12,2025
	150	12,67	10,97	11,82
	200	18,425	13,035	15,73
72 Jam	0	45,275	44,49	44,8825
	75	16,405	16,3	16,3525
	100	18,37	19,975	19,1725
	150	17,685	16,425	17,055
	200	26,055	19,205	22,63
96 Jam	0	50,19	48,8	49,495
	75	22,395	30,84	26,6175
	100	23,445	25,605	24,525
	150	23,325	22,565	22,945
	200	32,615	25,28	28,9475

Lampiran 4. Analisa Data Pengaruh Logam Terhadap Pertumbuhan Fungi Menggunakan SPSS

One-Sample Shapiro-Wilk Test

	Konsentrasi Logam	Statistic	df	Sig.
Pertumbuhan Fungi	0 ppm	.859	8	.117
	75 ppm	.929	8	.509
	100 ppm	.943	8	.637
	150 ppm	.941	8	.625
	200 ppm	.962	8	.829

Tes distribusi bernilai normal

Uji One-Sample Shapiro Wilk digunakan untuk mengetahui distribusi data. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai signifikansi sebesar 0.829 (>0.05) sehingga data tersebut berdistribusi normal serta memenuhi salah satu syarat uji ANOVA satu arah.

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Pertumbuhan Fungi	Based on Mean	3,114	4	35	,027
	Based on Median	2,845	4	35	,038
	Based on Median and with adjusted df	2,845	4	25,540	,045
	Based on trimmed mean	3,107	4	35	,027

Uji Homogenitas Varian digunakan untuk mengetahui apakah data pada variabel X dan Y bersifat homogen atau tidak. Pada penelitian ini di peroleh signifikansi data sebesar 0.27 (> 0.05), hal ini menunjukkan bahwa data tersebut bersifat homogen dan memenuhi syarat uji ANOVA satu arah.

ANOVA

Hasil

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2328,740	4	582,185	6,420	,001
Within Groups	3174,022	35	90,686		
Total	5502,761	39			

ANOVA (*Analysis of Variance*) digunakan untuk menguji hipotesis penelitian dengan menilai perbedaan rerata antar perlakuan atau kelompok. Pada penelitian ini diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.001 (< 0.05) sehingga terdapat perbedaan nyata antar perlakuan, selanjutnya dilakukan uji perbandingan berganda Tukey HSD.

Post Hoc Test

Hasil

Konsentrasi Logam		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	150 ppm	8	14,8469	
	75 ppm	8	15,1125	
	100 ppm	8	15,7444	
	200 ppm	8	18,7050	
	0 Pmm	8		34,8650
Sig.			,926	1,000


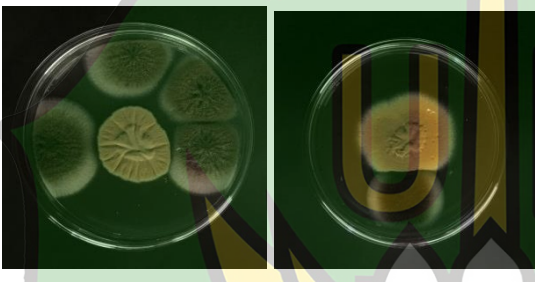


Uji Tukey HSD merupakan uji lanjut yang digunakan untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan berdasarkan nilai rerata. Pada penelitian ini diperoleh bahwa pada perlakuan 0 ppm berbeda secara nyata terhadap 75, 100, 150, dan 200 ppm, yang diketahui melalui notasi a dan b.

Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian

1. Dokumentasi Pengambilan Sampel

Gambar	Keterangan
	<p>Pengambilan sampel sedimen di hilir Sungai Krueng Aceh, yang berlokasi di Gampong Jawa, Kota Banda Aceh, menggunakan alat <i>sediment grab</i>.</p>
	<p>Sampel sedimen yang diperoleh dari hilir Sungai Krueng Aceh, yang berlokasi di Gampong Jawa, Kota Banda Aceh.</p>
	<p>Proses sampel sedimen dimasukkan ke dalam kemasan plastik steril dan diberi label.</p>

2. Dokumentasi Proses Isolasi dan Pemurnian Fungi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Gambar	Keterangan
	Sampel sedimen yang telah diencerkan menggunakan NaCl dengan perbandingan 1 gram sedimen : 9 ml NaCl, diambil sebanyak 1 ml dan diinokulasikan ke PDA.
	Isolat yang tumbuh pada media PDA.
	Proses identifikasi dan pemurnian fungi pada media PDA baru
	

AR - RANIRY

3. Dokumentasi Proses Uji Toleransi Ni Pada *Aspergillus* sp.

Gambar	Keterangan
	Proses pembuatan media PDA dengan penambahan logam Ni sebanyak 75, 100, 150, dan 200 ppm.
	Proses pemindahan isolat <i>Aspergillus</i> sp. pada media PDA yang telah diberikan logam Ni.