

**TOLERANSI TEMBAGA (Cu) PADA MIKROFUNGSI *Aspergillus*
sp. YANG DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

ARIS MUNANDAR

NIM. 170702116

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**TOLERANSI TEMBAGA (Cu) PADA MIKROFUNGSI *Aspergillus* sp. YANG
DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

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

Diajukan Oleh:

ARIS MUNANDAR
NIM. 170702116

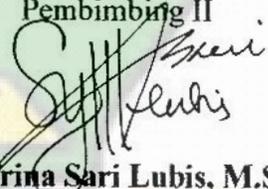
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui Oleh:

Pembimbing I


Dr. Abd. Muhibul Hamdan, M.Sc.
NIP. 1312100900892014031002

Pembimbing II


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIP. 198004252014032001

• Ketua Program Studi,


• **Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.**

NIP.198311092014032002

**TOLERANSI TEMBAGA (Cu) PADA MIKROFUNGSI *Aspergillus* sp. YANG
DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

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

Pada Hari/Tanggal: 25 November 2022
1 Jumaidil Awal 1444

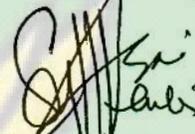
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,



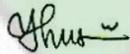
Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIP. 1312100900892014031002

Sekretaris,



Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIP. 198604252014032001

Penguji I,



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIP.198311092014032002

Penguji II,



M. Faisi Ikhwal, M.Eng.
NIP.199110082020121013

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



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIP.196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

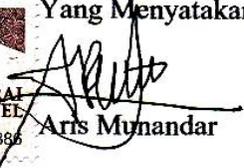
Nama : Aris Munandar
NIM : 170702116
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Toleransi Tembaga (Cu) Pada Mikrofungi
Aspergillus sp. yang Diisolasi dari Sedimen Sungai
Krueng Aceh.

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, 13 Oktober 2022

Yang Menyatakan,

Aris Munandar



ABSTRAK

Nama : Aris Munandar
NIM : 170702116
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Toleransi Tembaga (Cu) Pada Mikrofungi *Aspergillus* sp.
yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.
Tanggal Sidang : 25 November 2022
Tebal Skripsi : 61 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing II : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Kata Kunci : Mikrofungi *Aspergillus*, toleransi logam, tembaga (Cu),
bioremediasi, Krueng Aceh.

Bioremediasi sebagai sebuah proses bioteknologi yang melibatkan mikroorganisme telah menjadi salah satu kajian yang populer dalam bidang mikrobiologi karena semakin meningkatnya potensi untuk menyelesaikan permasalahan limbah melalui biodegradasi, tembaga (Cu) memiliki sifat berbahaya bagi lingkungan apabila parameter pada lingkungannya melebihi baku mutu standar yaitu 0,02 mg/L. Tembaga (Cu) akan menjadi logam esensial yang berguna untuk pertumbuhan mikroorganisme apabila parameter pada logam tersebut sesuai dengan baku mutu standar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pada Mikrofungi *Aspergillus* dan kemampuan toleransi terhadap tembaga (Cu). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Parameter fisik dan kimia yang diukur adalah pH, Turbiditas, *Total Dissolved Solid* (TDS), *Total Suspended Solid* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari hasil pengukuran tersebut hanya parameter TDS yang berada di baku mutu standar yaitu 222 pada titik 2 dan 170 pada titik 6 dengan baku mutu standar 1000 mg/L. Hasil karakteristik morfologi menemukan isolat FS1 adalah *Aspergillus niger*, hasil karakteristik morfologi pada isolat FS2 adalah *Aspergillus* sp. sedangkan hasil morfologi pada isolat FS3 *Aspergillus* sp. tingkat toleransi paling tinggi yaitu pada konsentrasi 200 ppm FS2 (120) jam dengan nilai 11,16, tingkat toleransi paling rendah yaitu pada konsentrasi 100 ppm FS3 (24) dengan nilai 1,12. Dengan demikian fungi *Aspergillus* sp. pada konsentrasi 200 ppm FS2 (120) jam sangat efektif digunakan sebagai mikroorganisme dalam mengurangi kadar berbahaya pada lingkungan karena dapat melakukan tingkat toleransi sangat tinggi.

ABSTRACT

Name : Aris Munandar
NIM : 170702116
Study Program : Environmental Engineering
Title : Tolerance of Copper (Cu) in Microfungi *Aspergillus* sp.
isolated from the Aceh Krueng River Sediments.
Session Date : 25 November 2022
Thesis Thickness : 61 Pages
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Advisor II : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Keywords : *Aspergillus* mikrofungi, metal tolerance, metal (Cu),
bioremediation, Krueng Aceh.

*Bioremediation as a biotechnological process involving microorganisms has become a popular study in the field of microbiology due to the increasing potential to solve waste problems through biodegradation. Copper (Cu) has hazardous properties for the environment if the parameters in the environment exceed the standard quality standards, namely 0.02 mg/L. Nevertheless, it will be essential for the growth of microorganisms if the parameters of the metal comply with standard quality standards. This study aimed to determine the characteristics of Aspergillus Microfungi and its tolerance to Copper (Cu). The method used in this study was experimental research. The physical and chemical parameters measured were pH, Turbidity, Total Dissolved Solid (TDS), Total Suspended Solid (TSS), Dissolved Oxygen (DO), Chemical Oxygen Demand (COD). From the results of these measurements conducting in this study, there was only the TDS parameter was in the quality standard, including 222 at point 2 and 170 at point 6 with a standard quality standard of 1000 mg/L. The results of morphological characteristics found isolate FS1 was *Aspergillus niger*, the results of morphological characteristics on isolate FS2 were *Aspergillus* sp. The morphological results on FS3 isolate *Aspergillus* sp., in the highest tolerance level, was at a concentration of 200 ppm FS2 (120) hours with a value of 11.16 while the lowest tolerance level of *Aspergillus* sp. was at a concentration of 100 ppm FS3 (24) with a value of 1.12. Therefore, the fungus *Aspergillus* sp. at a concentration of 200 ppm FS2 (120) hours was very effective as a microorganism in reducing harmful levels in the environment because it could accomplish a very high tolerance level.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Esa atas segala karunia nya sehingga penelitian tugas akhir “Toleransi Tembaga (Cu) pada Mikrofungi *Aspergillus* sp. yang Diisolasi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh” dapat tersusun secara baik dan benar. Tidak lupa penulis juga menghaturkan rasa terimakasih kepada Orang Tua dan Keluarga yang telah memberikan dukungan selama ini. Semoga kedepannya tugas penelitian akhir ini dapat disempurnakan bentuk dan isinya. Diharapkan kritik dan saran yang memotivasi dari pembaca untuk kelengkapan penelitian tugas akhir berikut. Terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. sebagai Ketua Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir.
4. Ibu Syafrina Sari Lubis, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II sekaligus orang tua bagi saya yang selalu memberi arahan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik.
6. Anggota Penelitian yang didanai oleh Pusat Penelitian (Puslit) UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Cut Taffazani, Della Jaswita, Zahratul Maulida.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang terlibat dalam membantu penyelesaian tugas akhir, akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 13 Oktober 2022

Penulis,

Aris Munandar

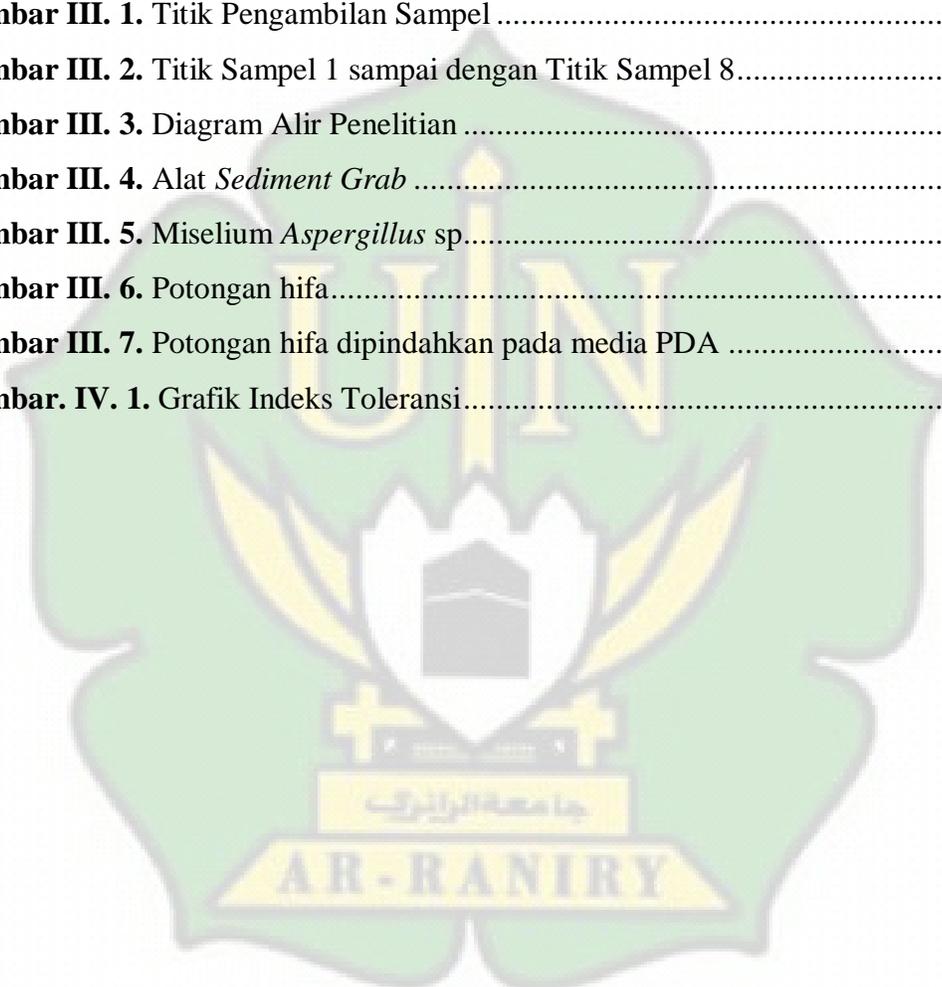
DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	4
I.3. Tujuan Penelitian.....	4
I.4. Manfaat Penelitian.....	5
I.5. Batasan Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
II.1. Bioremediasi.....	6
II.2. Fungi <i>Aspergillus</i> sp.....	9
II.3. Logam Tembaga (Cu).....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
III.1. Lokasi Penelitian.....	13
III.2. Alat dan Bahan.....	15
III.3. Metode Penelitian.....	15
III.4. Tahapan Penelitian.....	15
III.5. Diagram Alir Penelitian.....	16
III.6. Prosedur Penelitian.....	17
III.6.1. Pengambilan Sampel Sedimen.....	17
III.6.2. Isolasi Fungi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.....	17
III.6.3. Pembuatan Larutan Stok.....	18

III.6.4. Peremajaan Mikrofungi <i>Aspergillus</i> sp.	19
III.6.5. Karakterisasi Fungi <i>Aspergillus</i> sp.....	19
III.6.6. Penapisan Mikrofungi <i>Aspergillus</i> sp. Toleran Cu	19
III.6.7. Uji Toleransi	22
III.8. Analisis Data.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
IV.1. Hasil	24
IV.1.1. Parameter Fisik dan Kimia Sungai Krueng Aceh	24
IV.1.2. Karakteristik Mikrofungi <i>Aspergillus</i> sp.....	25
IV.1.3. Kemampuan Toleransi Fungi <i>Aspergillus</i> sp.....	27
IV.1.4. Indeks Toleransi Fungi.....	29
IV.2. Pembahasan	31
IV.2.1. Parameter fisik dan kimia terhadap baku mutu titik sampling	31
IV.2.2. Karakteristik Fungi <i>Aspergillus</i> sp.....	33
IV.2.3. Kemampuan Toleransi Fungi <i>Aspergillus</i> sp.....	34
BAB V PENUTUP	36
V.1. Kesimpulan	36
V.2. Saran.....	36
LAMPIRAN	41

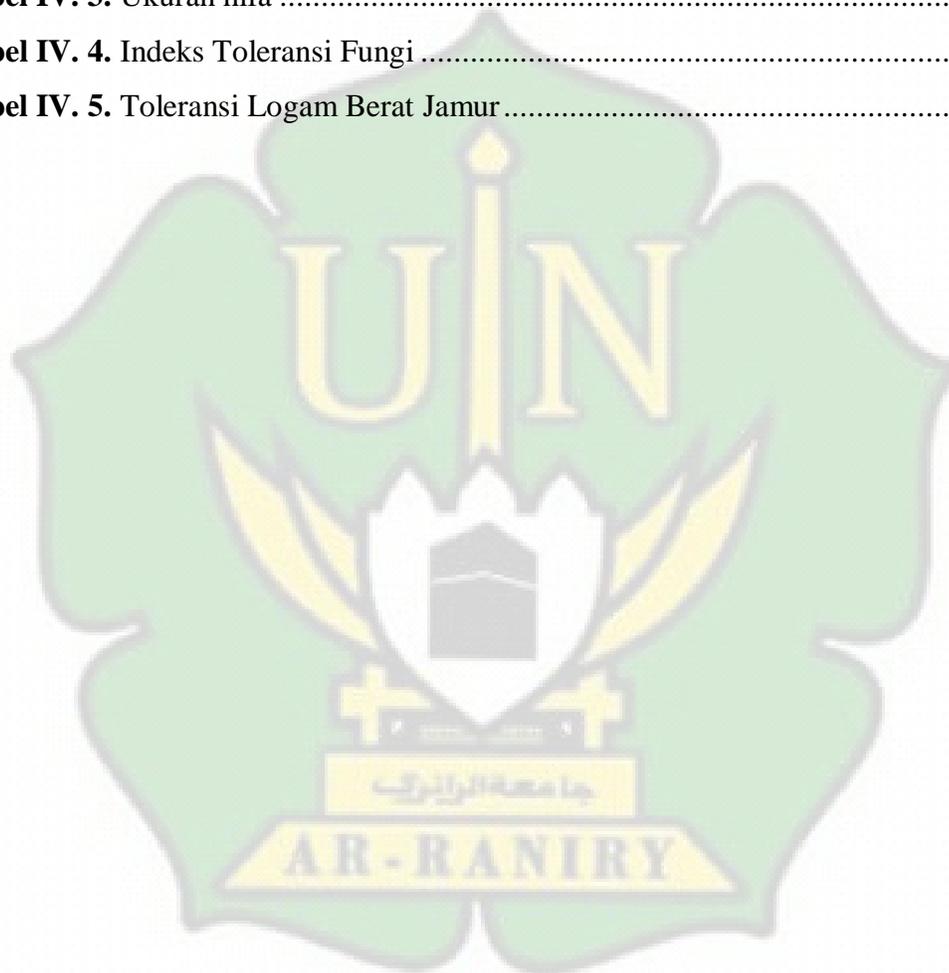
DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Analisis Biosorpsi	9
Gambar II. 2. Jamur <i>Aspergillus</i> sp.	11
Gambar III. 1. Titik Pengambilan Sampel	14
Gambar III. 2. Titik Sampel 1 sampai dengan Titik Sampel 8.....	14
Gambar III. 3. Diagram Alir Penelitian	16
Gambar III. 4. Alat <i>Sediment Grab</i>	17
Gambar III. 5. Miselium <i>Aspergillus</i> sp.....	21
Gambar III. 6. Potongan hifa.....	21
Gambar III. 7. Potongan hifa dipindahkan pada media PDA	21
Gambar. IV. 1. Grafik Indeks Toleransi.....	30



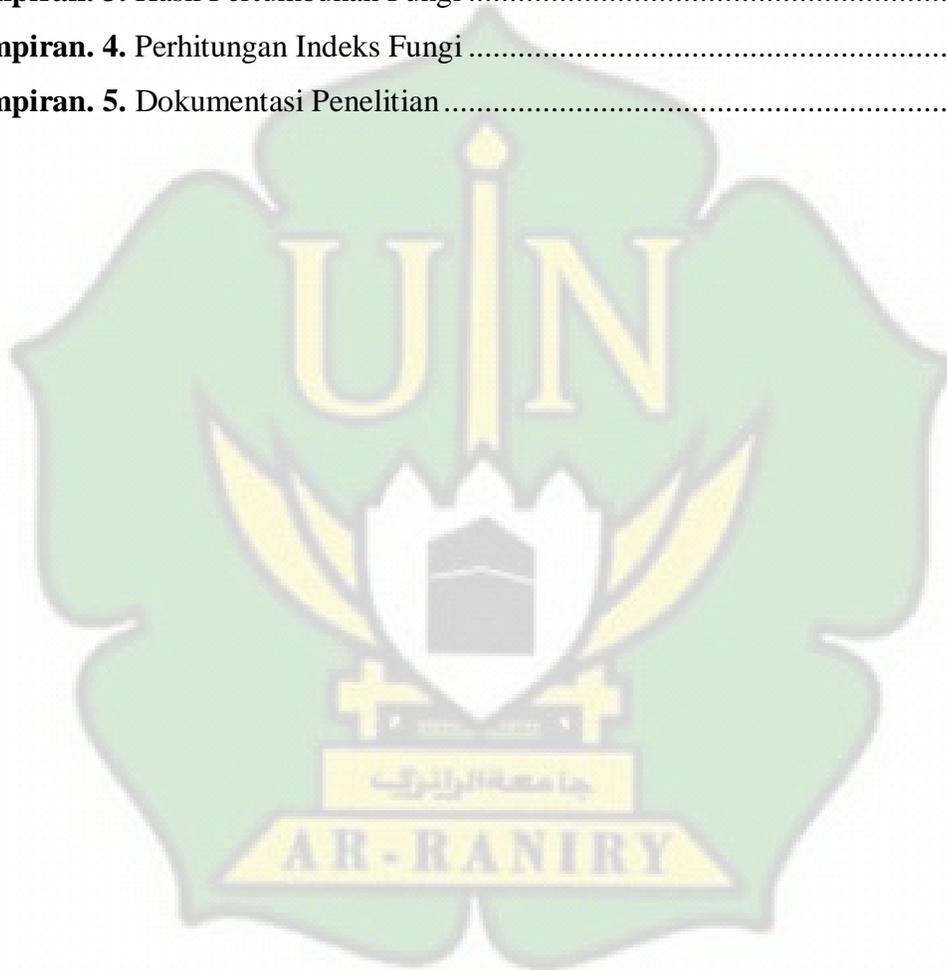
DAFTAR TABEL

Tabel IV. 1. Parameter Fisik dan Kimia	24
Tabel IV. 2. Karakteristik Morfologi Mikrofungi <i>Aspergillus</i> sp.	25
Tabel IV. 3. Ukuran hifa	27
Tabel IV. 4. Indeks Toleransi Fungi	29
Tabel IV. 5. Toleransi Logam Berat Jamur	30



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1. Pembuatan larutan Stok $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	41
Lampiran. 2. Pembuatan Larutan Uji Toleransi	42
Lampiran. 3. Hasil Pertumbuhan Fungi	43
Lampiran. 4. Perhitungan Indeks Fungi	45
Lampiran. 5. Dokumentasi Penelitian	48



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Menurut Fidiastuti dan Lathifah (2019), bioteknologi adalah cabang ilmu yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup (bakteri, fungi dan virus). Bioremediasi sebagai sebuah proses bioteknologi yang melibatkan mikroorganisme telah menjadi salah satu kajian yang populer dalam bidang mikrobiologi karena semakin meningkatnya potensi untuk menyelesaikan permasalahan limbah melalui biodegradasi. Mikroorganisme mulai dipertimbangkan sebagai alternatif untuk membersihkan limbah dari air maupun tanah karena memiliki banyak keuntungan dibandingkan teknik pengelolaan limbah yang lain.

Menurut Lutfi (2017), bioremediasi merupakan metode yang menggunakan aktivitas biologi salah satunya adalah bakteri, fungi, alga dan yeast yang mampu melakukan adaptasi, berkembang biak dan tahan pada tempat hidupnya, pada lingkungan perairan dan sedimen akan banyak terdapat kumpulan bakteri, fungi, alga dan yeast yang mampu untuk hidup dan memanfaatkan logam berat dalam siklus hidupnya dalam bentuk mendegradasi dan mengikat logam tersebut. Menurut Waluyo dan Lathif (2020), proses bioremediasi ini memanfaatkan potensi metabolisme organisme hidup seperti tanaman, bakteri, jamur, ganggang untuk membersihkan lingkungan yang terkontaminasi, untuk mendetoksifikasi, menurunkan atau menghilangkan polutan lingkungan. Organisme dapat digunakan untuk bioremediasi polutan dalam kondisi *in-situ* dan *ex-situ*. Dengan teknik *in-situ*, situs yang tercemar diperlakukan di tempat tanpa penggalian, dalam melakukan bioremediasi secara *in-situ* terdapat tiga metode dasar yaitu *bioaugmentasi*, *natural attenuation* dan *biostimulation*, namun dalam teknik *ex-situ* sampel dari lokasi yang tercemar dikumpulkan dan dipindahkan ke laboratorium, dalam teknik *ex-situ* ini terdapat empat metode dasar yaitu *windrows*, *biopile*, *land farming* dan *bioreactor*, strategi *in-situ* dan *ex-situ* bergantung pada dinamika komunitas organisme, perkembangan dan keberadaannya, struktur dan fungsinya.

Biosorpsi merupakan istilah yang digunakan dalam menjelaskan proses penghilangan logam berat melalui pengikatan pasif menggunakan biomassa mikroorganisme (Setiawan dkk., 2019 ; Christanto, 2017), biosorpsi dapat didefinisikan juga sebagai kemampuan material biologi sel aktif atau mati dalam melakukan penyerapan logam berat secara pasif dengan cepat.

Menurut Putri (2017), logam berat merupakan unsur kimia yang memiliki berat jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 . Logam berat memiliki afinitas yang tinggi terhadap unsur-unsur S dan biasanya terletak pada nomor atom 22 sampai 02 dari periode 4 hingga 7. Terakumulasinya logam berat dalam tubuh akan merusak kesehatan manusia. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam esensial yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah sedikit yaitu untuk merangsang pertumbuhan pada organisme, namun dikatakan beracun (toksik) apabila konsentrasinya di lingkungan melebihi ambang baku mutu yang telah ditentukan (Permata dkk., 2018). Menurut Hamdan dkk. (2021), hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap logam berat tembaga (Cu) pada studi kasus sungai Krueng Aceh provinsi Aceh dengan menggunakan analisis XRF (*x-ray fluorescence*) dengan menggunakan penetapan 8 kode sampel dengan satuan konsentrasi logam mg/kg. Hasil yang telah diperoleh dari 8 kode sampel tersebut telah terdeteksi yakni pada kode sampel kedua dan delapan. Kode sampel kedua telah diperoleh hasil konsentrasi sebesar 296 mg/kg, sedangkan pada kode sampel delapan diperoleh hasil konsentrasi sebesar 341 mg/L. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Baku Mutu Logam Berat Tembaga (Cu) di Air Sungai Sebesar 0,02 mg/L Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kelebihan Cu di lingkungan terutama di perairan dapat mengganggu kesehatan bagi manusia salah satunya adalah terhambatnya pertumbuhan, gangguan pada tulang, gangguan pada saluran pencernaan, kemandulan, sehingga sangat berbahaya bagi tubuh manusia.

Dalam berbagai penelitian menunjukkan kelompok fungi memiliki kemampuan untuk menyerap logam. Fungi terdiri dua kelompok makrofungi dan mikrofungi. Mikrofungi merupakan kelompok fungi berukuran mikroskopis. Spesies mikrofungi yang dikenal memiliki kemampuan biosorpsi antara lain genus *Aspergillus*. Menurut

Hermawan (2017), *Aspergillus* sp. adalah organisme yang masuk kedalam kategori eukariot yang sangat berlimpah di alam. Jenis kapang ini juga termasuk kedalam kontaminan yang umum pada berbagai substrat baik itu di tropis maupun subtropis. *Aspergillus* sp. juga tergolong ke dalam habitat yang paling sering ditemukan baik itu secara umum di saprofit tanah, makanan yang disimpan dan produk pakan.

Menurut Sudrajat dan Mulyana (2017), kemampuan mikroorganisme dalam mengakumulasi logam berat dari limbah melalui penyerapan secara fisika-kimia disebut biosorpsi. Beberapa alga, bakteri, jamur telah terbukti memiliki kemampuan untuk menyerap logam. Beberapa fungi yang menunjukkan kemampuan biosorpsi logam berat adalah *Aspergillus* sp, *Rhizopus arrhizus*, *penicillium* sp dan *Aspergillus niger*. Mekanisme toleransi fungi terhadap logam berat dengan cara kompleksasi meliputi produksi polisakarida ekstraseluler yang memiliki sifat-sifat anion yang berfungsi sebagai bioakumulator yang efisien, produksi metabolit organik yang memiliki sifat pengkelat dan membentuk kompleks dengan logam, biosorpsi logam terjadi karena adanya gugus amino yang terdapat pada jamur tersebut, perpindahan logam melewati membran sel menghasilkan akumulasi intraseluler yang bergantung pada metabolisme sel. Menurut Saletti (2020), pada kondisi hidup atau mati kemampuan terhadap hifanya mampu menyerap logam berat yang ada pada limbah.

Beberapa Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Titah dan Primadipta (2017), yaitu melakukan proses mikoremediasi pada lumpur dengan menggunakan fungi *Aspergillus* sp. pada konsentrasi 5, 10, 15 dan 20% sangat efektif dalam menyisihkan lebih banyak logam berat. Menurut Jayaraman dan Arumugam (2014), menemukan *Aspergillus flavus* diisolasi dari sampel limbah memiliki kemampuan biosorpsi Cu (II) sebesar 80%. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Primadipta dan Titah (2017), dengan melakukan mikoremediasi pada lumpur alum menggunakan *Aspergillus niger* dengan konsentrasi 5 dan 10% dengan penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent* sebesar 3% *bulking agent* dengan penyisihan aluminium sebesar 10,11%. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan *Aspergillus niger* dengan konsentrasi 15 dan 20% dengan harapan *Aspergillus niger* dapat lebih banyak menyisihkan logam berat. Menurut Kallang (2020), dalam

penelitian Saad dkk (2019), juga menemukan bahwa *Aspergillus tamarii* NRC 3 yang resisten terhadap logam Cu yang diisolasi dari sampel tanah terkontaminasi yang dapat digunakan sebagai biosorben untuk bioremoval dan *bio-recovery* berbagai logam berat. *A. tamarii* NRC 3 dapat menyerap 90,94% Cu (II). Proses biosorpsi dipengaruhi oleh suhu, pH, konsentrasi ion logam dan waktu. Untuk mendapatkan isolat mikroba yang memiliki kemampuan dalam bioremediasi logam, dapat diisolasi pada lingkungan yang tercemar logam, berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan penelitian lanjutan berupa uji toleransi tembaga (Cu) oleh *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen dasar Sungai Krueng Aceh.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh?
2. Bagaimana kemampuan toleransi *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh terhadap logam berat tembaga (Cu)?

I.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh terhadap tembaga (Cu).
2. Untuk mengetahui kemampuan toleransi *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh terhadap tembaga (Cu).

I.4. Manfaat Penelitian

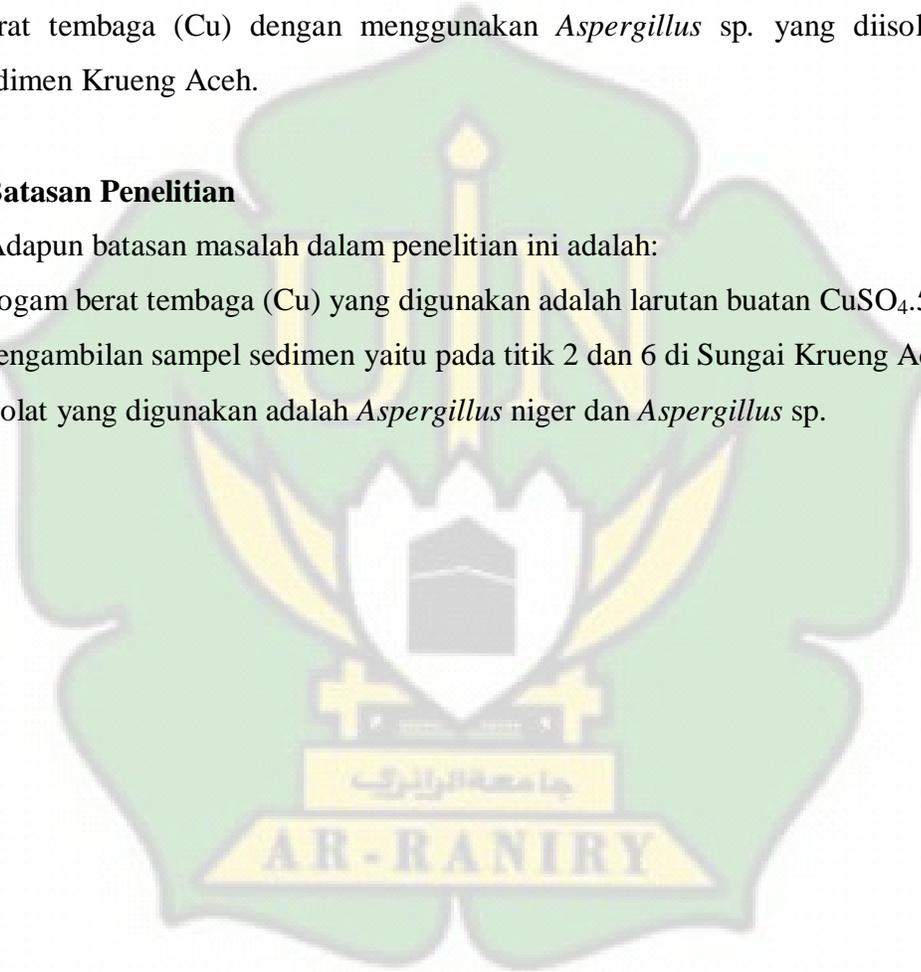
Adapun manfaat dilakukan penelitian ini adalah:

1. Diharapkan penelitian ini sebagai sebuah sumber pengetahuan terbaru tentang karakteristik jamur terhadap logam berat tembaga (Cu) serta menjadikan juga sebuah data yang akan bermanfaat di kemudian hari.
2. Diharapkan penelitian ini sebagai sebuah sumber pengetahuan mengenai toleransi berat tembaga (Cu) dengan menggunakan *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen Krueng Aceh.

I.5. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Logam berat tembaga (Cu) yang digunakan adalah larutan buatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.
2. Pengambilan sampel sedimen yaitu pada titik 2 dan 6 di Sungai Krueng Aceh.
3. Isolat yang digunakan adalah *Aspergillus niger* dan *Aspergillus* sp.



BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. Bioremediasi

Menurut Wijayanti (2017), teknik bioremediasi limbah cair terkontaminasi logam berat dengan menggunakan bakteri indigen merupakan langkah alternatif yang terus dikembangkan. Menurut Kurniawan dan Ekowati (2016), biosorpsi merupakan proses penghilangan pada kadar logam dan kadar toksisitasnya, biosorpsi juga dapat diartikan suatu proses menghilangkan logam pada larutan dengan penggunaan bahan-bahan biologis, kemudian biosorpsi juga dapat didefinisikan kedalam proses menghilangkan logam berat dengan melakukan pengikatan pasif kepada biomassa yang tidak hidup dari larutan dan mekanisme pereduksi yang tidak dapat dikendalikan secara metabolik, biosorpsi merupakan proses terjadinya penyerapan logam secara pasif yang dilakukan oleh sel-sel mikroorganisme, kapsul, serta polimer ekstraseluler yang kemudian disintesis dan dilakukan ekskresi oleh mikroorganisme.

Pada mekanisme biosorpsi proses kompleks yang dapat mempengaruhi mekanisme biosorpsi antara lain yaitu pada status biomassa, sifat kimia pada logam, biomaterial, kondisi lingkungan baik itu pH, suhu, dosis pada biosorben, oksigen terlarut dan konsentrasi yang tinggi dari logam-logam yang tidak masuk kedalam kategori berbahaya baik itu kalsium, sodium dan magnesium.

Menurut Ekawati (2019), ada beberapa faktor yang akan mempengaruhi proses biosorpsi yaitu:

1. Suhu

Suhu adalah salah satu faktor yang akan sangat mempengaruhi proses biosorpsi, pada proses ini keadaan suhu kamar lebih efektif lebih baik daripada penggunaan suhu yang sangat tinggi. Semakin tinggi penggunaan suhu maka akan berpengaruh pada proses penyerapan yaitu proses penyerapan akan semakin melemah. Hal seperti ini terjadi dikarenakan proses degradasi komponen-komponen kitin yang diakibatkan oleh suhu panas pada permukaan biomassa. Disisi lain proses kenaikan suhu dapat menyebabkan difusivitas dan reaktivitas didalam kandungan pori yang akan

memperbanyak ion yang dapat terikat di permukaan. Namun disisi lain ketika bertambahnya reaktifitas dapat menyebabkan ion dengan mudah terlepas.

2. Konsentrasi logam

Konsentrasi logam menjadi salah satu faktor yang juga mempengaruhi proses biosorpsi. Pada proses biosorpsi terjadi peningkatan bersamaan yaitu dengan meningkatnya nilai kadar konsentrasi logam sampai tercapai titik jenuh. Yang mempengaruhi kadar awal pada logam adalah transfer massa ion pada fase cair maupun fase padat. Konsentrasi awal logam berat memiliki peran untuk mengatasi masalah pada transfer berat ion logam berat yang dilakukan oleh biomassa sehingga mengalami tingkatan secara bersamaan dengan peningkatan konsentrasi logam berat. Namun konsentrasi awal yang tergolong tinggi bisa menyebabkan efisiensi pada prosentase kehilangan logam menjadi berkurang. Hal seperti ini dikarenakan kapasitas pada biomassa dalam melakukan proses penyerapan sudah mencapai titik kesetimbangan dan situs pada pengikat telah berubah menjadi jenuh. Tetapi pada konsentrasi awal logam berat dengan nilai kadar yang rendah dapat meningkatkan proses interaksi ion pada logam dan situs pengikat sehingga menghilangnya efisiensi logam berat menjadi sangat maksimal

3. Derajat keasaman (pH)

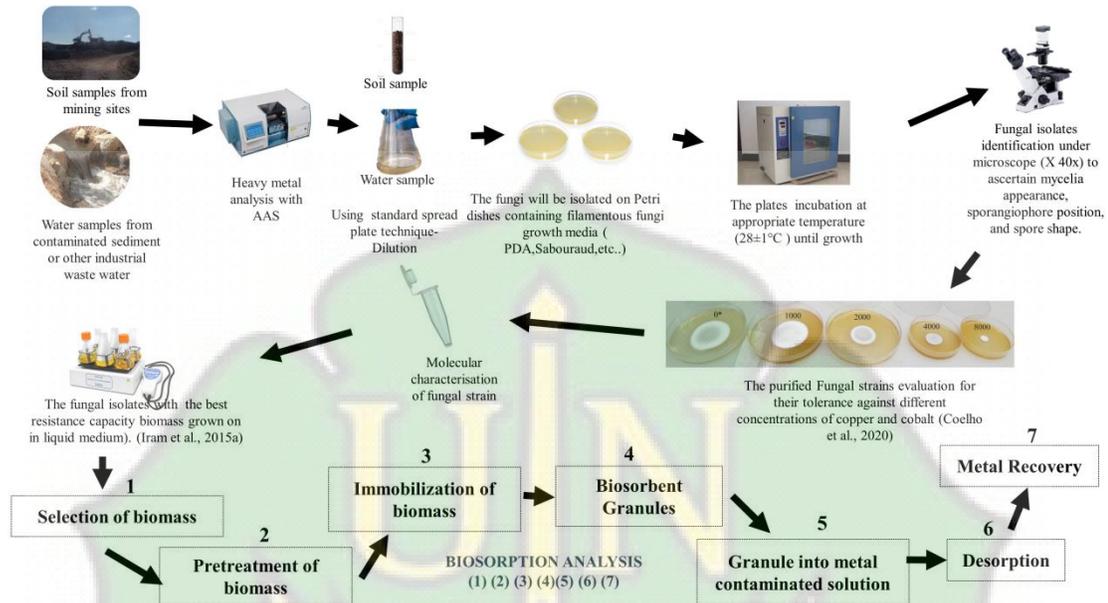
Nilai pH pada proses biosorpsi menggunakan mikroorganismen menjadi salah satu faktor yang juga sangat mempengaruhi proses penyerapan logam berat. Nilai pH memiliki pengaruh pada interaksi kimia yang terjadi pada di dalam proses biosorpsi ion logam, fungsional di bagian ekstraseluler sel mikroorganismen serta derajat ionisasi pada *adsorbat* saat proses reaksi berlangsung. Gugus fungsi pada biomassa dengan ion logam disaat bekerja dengan proses pergantian proton hingga menyebabkan nilai derajat keasaman (pH) bisa sesuai agar proses penyerapan dapat terjadi dan mampu berlangsung secara optimal.

4. Waktu kontak

Pada proses waktu kontak antara adsorbat dengan biosorben akan sangat mempengaruhi proses pada saat biosorpsi. Peningkatan signifikan pada laju biosorpsi akan terus bertambah seiring dengan waktu kontak ketika mencapai sebuah titik kesetimbangan atau optimum. Pada hal ini sangat dipengaruhi oleh tingginya kapasitas permukaan biosorben yang relatif masih sangat besar dalam melakukan pengikatan logam sebelum tercapainya titik jenuh. Setelah proses tercapainya titik kesetimbangan maka kemampuan pada biomassa dalam melakukan pengikatan logam berat akan terus mengalami penurunan.

Menurut Panji (2016), sebagai biosorpsi logam berat sebaiknya digunakan mikroorganisme yang bersifat tidak patogen. Mikroorganisme yang sering digunakan salah satunya adalah jamur *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Candida* sp. Menurut Hidayat (2015), logam-logam berat merupakan unsur yang tidak *biodegradable* sehingga limbah-limbah yang mengandung logam berat bila tertumpah kelingungan sedikit demi sedikit akan terakumulasi pada tanah dan air, bila ketersediaannya meningkat akan diserap oleh tanaman dan akan memberikan efek negatif kepada kehidupan manusia.

Sumarlin dan Harsono (2020), penurunan kualitas air diakibatkan oleh adanya zat pencemar dan logam berat, salah satunya yaitu tembaga (Cu). Tembaga masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat berasal dari peristiwa-peristiwa alamiah dan sebagai efek samping dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Tembaga (Cu) masuk ke dalam badan perairan sebagai akibat dari peristiwa erosi atau pengikisan batuan mineral dan melalui persenyawaan Cu di atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Melalui jalur alamiah ini, Cu yang masuk ke badan perairan diperkirakan mencapai 325.000 ton per tahun. Menurut Christian. dkk (2019), tembaga merupakan salah satu logam berat esensial dan diperlukan oleh manusia dalam konsentrasi yang sangat kecil, yaitu tidak lebih dari 0,05 mg/kg berat badan yaitu untuk membentuk hemoglobin dan kolagen, tetapi akan menjadi racun jika konsentrasi tembaga tersebut melebihi tingkat kebutuhan harian.



Gambar II. 1. Analisis Biosorpsi
 Sumber: Dusengemungu dkk. (2020)

Menurut Lotlikar (2019), mekanisme toleransi logam terdiri dari dua jenis: ekstraseluler dan intraseluler. Mekanisme ekstraseluler terjadi melalui biosorpsi dan produksi kelatin ekstraseluler, sedangkan mekanisme intraseluler terjadi melalui pompa efluks, transformasi enzimatik, produksi protein metallothionein dan fitokelatin, kompleksasi dengan glutathione intraseluler dan kompartementalisasi vakuola.

II.2. Fungi *Aspergillus* sp.

Menurut Syaifuddin (2017), *Aspergillus* sp. terdapat di alam sebagai saprofit, tumbuh di daerah tropik dengan kelembapan tinggi. *Aspergillus* mampu memproduksi mikotoksin, karena memiliki gen yang mampu memproduksinya, habitat asli *Aspergillus* dalam tanah, kondisi yang menguntungkan meliputi kadar air yang tinggi (setidaknya 7%) dan suhu tinggi. *Aspergillus* memiliki tangkai-tangkai

panjang (*conidiophores*) yang mendukung kepalanya yang besar (*vesicle*). Di kepala ini terdapat spora yang membangkitkan sel hasil dari rantai panjang spora. *Aspergillus* mampu tumbuh pada suhu 370 °C. Menurut Kurniasari (2010), banyak mikroorganisme yang dapat digunakan serta berperan sebagai biosorben salah satunya adalah kelompok jamur, bakteri, alga dan yeast. Pada kelompok mikroorganisme ini telah terbukti sangat mampu melakukan pengikatan logam berat dengan beragam hasil. Dalam kelompok ini fungi tergolong ke dalam mikroorganisme yang memiliki kemampuan tinggi dalam melakukan pengikatan terhadap logam. Salah satu contoh beberapa jenis fungi yang memiliki potensi cukup besar untuk melakukan biosorpsi logam yaitu dari genus *Aspergillus* sp., *Saccharomyces*, *Rhizopus* dan *Streptovercillium*. Berikut taksonomi sistematika *Aspergillus* sp. berdasarkan <https://www.cabi.org/isc/>.

Domain: Eukaryota

Kingdom: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Pezizomycotina

Class: Eurotiomycetes

Subclass: Eurotiomycetidae

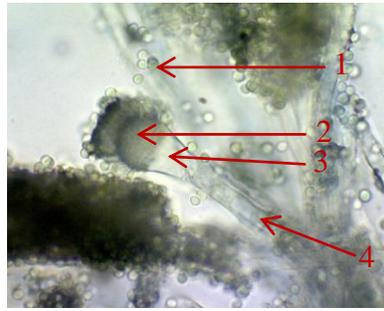
Order: Eurotiales

Family: Trichocomaceae

Genus: *Aspergillus*

Species: *Aspergillus* sp

Menurut Ekawati (2019), jamur dari genus *Aspergillus* sp. merupakan salah satu mikroorganisme yang telah banyak diteliti serta berkaitan dengan kemampuan sebagai salah satu agen biosorpsi logam berat. Genus *Aspergillus* sp. berdasarkan banyak penelitian yang sudah dilakukan menjelaskan bahwa estimasi suhu dalam sebuah proses biosorpsi logam tembaga (Cu) dalam suhu kamar proses pada adsorpsi logam dominan sangat optimal jika digunakan pada suhu yang tinggi.



- 1.Konidia
- 2.Fialid
- 3.Vesikal
- 4.Konidiofor

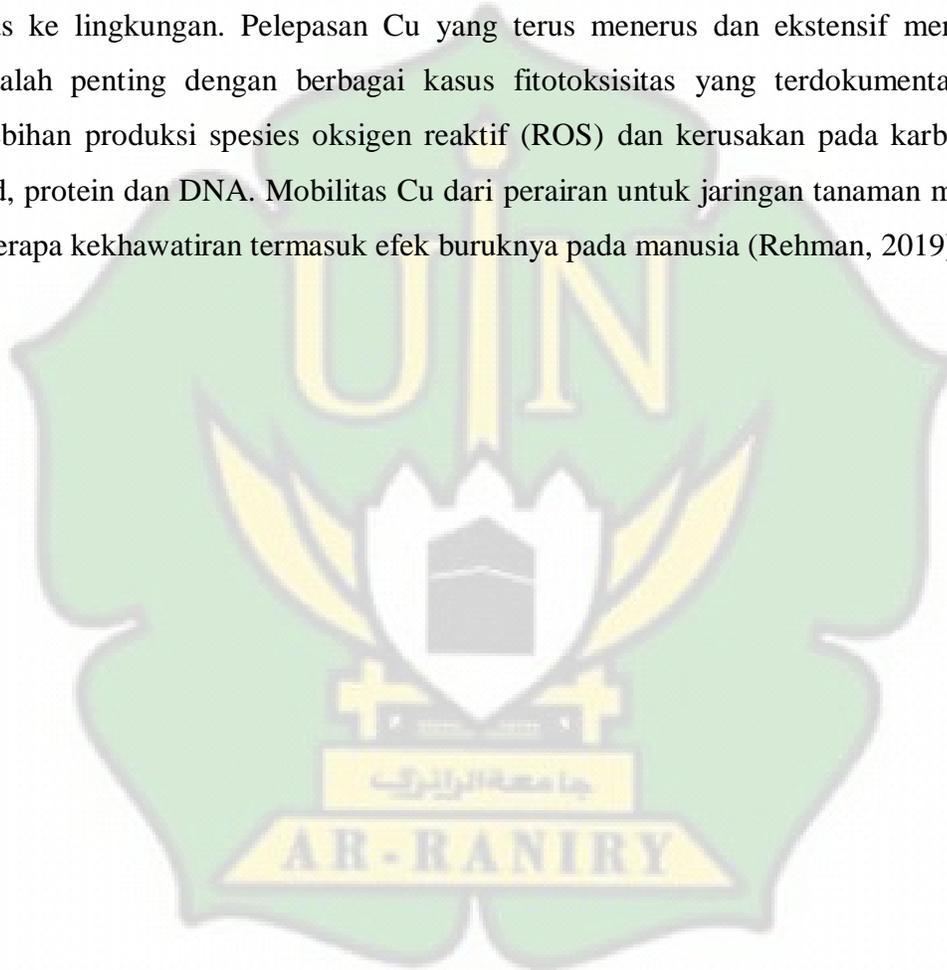
Gambar II. 2. Jamur *Aspergillus* sp.
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

II.3. Logam Tembaga (Cu)

Menurut Silaen, (2021), Cu adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa dan liat. Tembaga dengan nama kimia cuprum dilambangkan dengan Cu. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia, tembaga dalam badan perairan laut, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan ion seperti CuCO^+ , CuOH^+ dan sebagainya. Secara alamiah, Cu masuk ke dalam badan perairan akibat erosi atau pengikisan batuan mineral dan melalui persenyawaan Cu di atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Kebutuhan manusia terhadap tembaga cukup tinggi. Manusia dewasa membutuhkan sekitar $30 \mu\text{g}$ Cu per kg berat tubuh. Pada anak-anak jumlah Cu yang dibutuhkan adalah $40 \mu\text{g}$ Cu per kg berat tubuh. Sedangkan pada bayi $80 \mu\text{g}$ Cu per kg berat tubuh. Kehadiran tembaga di dalam air dipengaruhi oleh pH, kadar karbonat dan larutan ion yang lain. Penjernihan air dengan menggunakan bahan kimia malahan akan meningkatkan kadar tembaga di dalam air. Tembaga akan memberikan warna tersendiri dan rasa yang kurang disenangi. Kadar tembaga di dalam air normalnya $0,01\text{-}0,5 \text{ mg/L}$. tembaga berperan penting untuk pembuatan sel darah merah, pelepasan zat besi dari jaringan.

Defisiensi Cu dapat menyebabkan anemia atau pertumbuhan terhambat. Gejala lainnya adalah gangguan pada tulang, kemandulan, depigmentasi pada rambut, gangguan saluran pencernaan. Pada konsentrasi rendah unsur tembaga dibutuhkan untuk metabolisme didalam tubuh manusia dan hewan, tetapi bila konsentrasi tinggi menyebabkan kerusakan pada lambung.

Tembaga (Cu) merupakan salah satu mikro elemen yang dibutuhkan oleh organisme. Pada tumbuhan, Cu berperan dalam pembentukan klorofil, fotosintesis, rantai transpor elektron pernapasan, perlindungan stres oksidatif serta protein, karbohidrat, dan dinding sel metabolisme. Oleh karena itu, defisiensi Cu dapat mengubah berbagai fungsi metabolisme tanaman. Pada sisi lain, penggunaan bahan kimia dalam bidang pertanian untuk pupuk dan produk pestisida menyebabkan Cu lepas ke lingkungan. Pelepasan Cu yang terus menerus dan ekstensif merupakan masalah penting dengan berbagai kasus fitotoksisitas yang terdokumentasi oleh kelebihan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan kerusakan pada karbohidrat, lipid, protein dan DNA. Mobilitas Cu dari perairan untuk jaringan tanaman memiliki beberapa kekhawatiran termasuk efek buruknya pada manusia (Rehman, 2019).



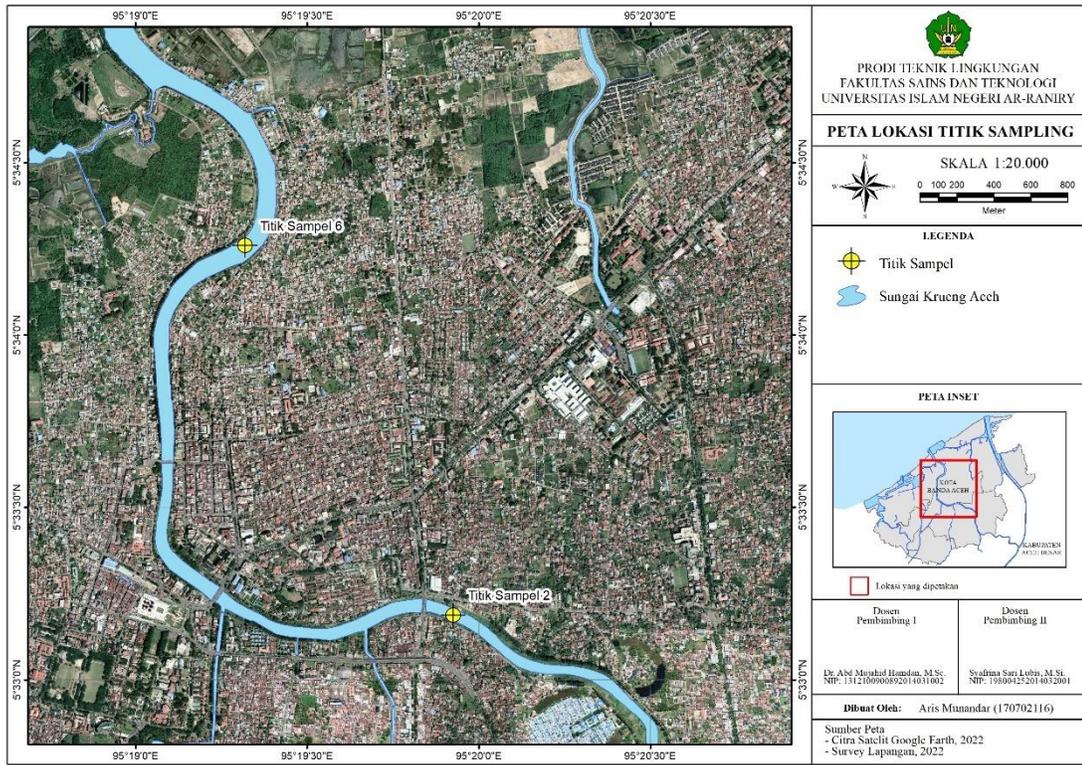
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

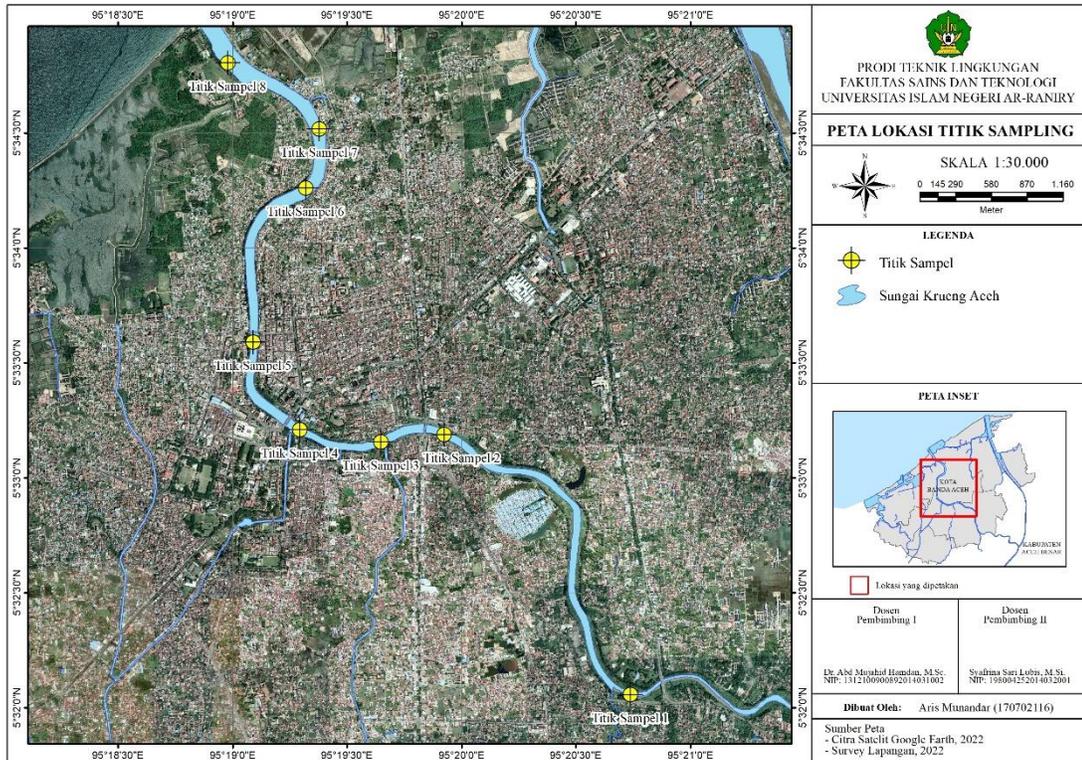
III.1. Lokasi Penelitian

III.1.1. Titik Sampel

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Multifungsi, dilantai 3 Lab Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, penelitian awal tahap pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 22 Agustus 2022 dan selesai pada tahap akhir pada 22 Oktober 2022. Titik pengambilan sampel diambil pada 2 tempat yaitu titik 2 dan titik 6, titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar III.1, penentuan pengambilan sampel pada titik 2 dan 6 ini karena fungi dapat melakukan pertumbuhan secara efektif setelah dilakukan pengujian awal di laboratorium, penentuan pengambilan titik sampel ini merupakan penelitian lanjutan yang diambil dari titik 1 sampai dengan titik 8, titik pengambilan sampel 1-8 dapat dilihat pada gambar III.2, berikut adalah koordinat titik 1: Latitude: 5°32'3.37"N Longitude: 95°20'44.29"E, koordinat titik 2: Latitude: 5°33'11.25"N Longitude: 95°19'55.48"E, koordinat titik 3: Latitude: 5°33'9.28"N Longitude: 95°19'38.89"E, koordinat titik 4: Latitude: 5°33'12.49"N Longitude: 95°19'17.63"E, koordinat titik 5: Latitude: 5°33'35.34"N Longitude: 95°19'5.34"E, koordinat titik 6: Latitude: 5°34'15.55"N Longitude: 95°19'19.14"E, koordinat titik 7: Latitude: 5°34'31.02"N Longitude: 95°19'22.71"E, koordinat titik 8: Latitude: 5°34'48.23"N Longitude: 95°18'58.70"E.



Gambar III. 1. Titik Pengambilan Sampel 1 dan 2



Gambar III. 2. Titik Sampel 1 sampai dengan Titik Sampel 8

III.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Spectrophotometry* (Uv-Vis), *laminar air flow* (LAF), *Autoclave*, gelas ukur, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung, mikropipet, bunsen, oven, inkubator, timbangan digital, mikroskop, erlenmeyer, jarum ose, batang kaca, batang L, *hot plate*, *magnetic stirrer* dan *shaker*.

Sedangkan untuk bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian adalah isolat jamur *Aspergillus* sp. koleksi Laboratorium Mikrobiologi, alkohol 70%, aluminium foil, aquadest, *plastic wrap*, *potato dextrose agar* (PDA), *potato dextrose broth* (PDB), kertas saring, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, tisu gulung, kertas label, NaCl dan kapas.

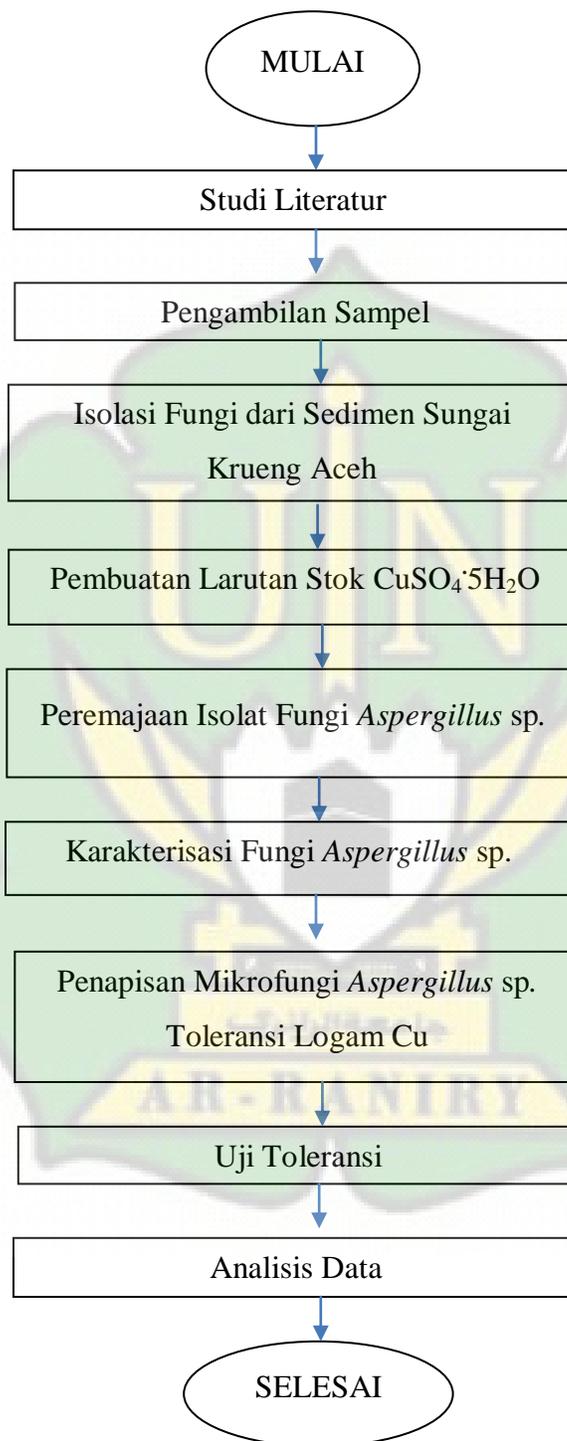
III.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang didalamnya terdapat beberapa rangkaian percobaan dimulai dari pembuatan larutan stok logam $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, peremajaan isolat *Aspergillus* sp., uji toksisitas dan biosorpsi isolat terpilih terhadap logam Cu. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

III.4. Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini dibuat dan kita susun secara terstruktur serta sistematis agar mempermudah alur penelitian ini. Dalam melakukan penelitian metode-metode penelitian ini dibentuklah suatu kerangka penelitian yang memiliki tujuan untuk mendapatkan deskripsi tentang alur kerja kegiatan. Diagram alir penelitian/kerangka penelitian akan digambarkan melalui gambar III.2 dengan struktural langkah-langkah sebagai berikut: (1) pada tahapan studi pendahuluan pada penelitian ini dilakukan dengan berbagai kegiatan penelitian mulai dari studi literatur, melakukan observasi lapangan, melakukan pengambilan sampel sedimen Sungai Krueng Aceh dan identifikasi fungi toleran tembaga (Cu). (2) Isolasi Fungi *Aspergillus* sp. (3) Pembuatan larutan stok logam $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. (4) Tahapan peremajaan isolat *Aspergillus* sp. (5). Karakterisasi Fungi *Aspergillus* sp. (6) Penapisan mikrofungi *Aspergillus* sp. toleran logam Cu. (7). Uji Toleransi. (8) Analisa data dilakukan untuk pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*. (9) Tahapan penyajian hasil penelitian untuk penarikan kesimpulan.

III.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar III. 3. Diagram Alir Penelitian

III.6. Prosedur Penelitian

III.6.1. Pengambilan Sampel Sedimen

Metode pengambilan sampel sedimen Sungai Krueng Aceh dilakukan dengan alat *Sediment Grab*, alat dapat dilihat pada gambar III.3, langkah pengambilan sampel sedimen adalah sebagai berikut; (1) sampel sedimen diambil dengan menggunakan alat yang bernama *sediment grab* pada titik 2 dan titik 6, (2) *sediment grab* diturunkan ke dasar sungai pada titik 2 dan titik 6 dengan menggunakan tali, (3) setelah sampel sedimen diambil, sampel dimasukkan ke dalam wadah plastik yang telah disediakan, (4) kemudian wadah plastik tersebut diberi label (titik pengambilan, tanggal, lokasi dan waktu).



Gambar III. 4. Alat *Sediment Grab*

III.6.2. Isolasi Fungi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

Pengenceran sampel lumpur dilakukan dengan menimbang 1 g sampel tanah/lumpur dan ditambahkan 9 ml aquades. Kemudian diambil 1 ml dari sampel dan ditambahkan kedalam 9 ml aquades. Langkah ini terus diulang hingga pengenceran kelima. 0,1 ml sampel disebar pada media PDA dengan penambahan FeSO_4 1% (Ishak dkk., 2011: Gupta dkk., 2014).

Sampel pada media PDA diinkubasi selama 72 jam atau lebih pada suhu 30°C (Rose dan Devi, 2018). Pengamatan pertumbuhan isolat jamur dilakukan setelah 72 jam inkubasi (Joshi dkk., 2011). Setiap koloni jamur yang telah tumbuh pada media diambil dan dipisahkan berdasarkan bentuk koloni, permukaan, tepian, ukuran serta warna-warna koloni pada bagian permukaan atas dan bawah media, untuk memperoleh isolat tunggal. Karakterisasi dilakukan secara mikroskopis dilakukan dengan cara mengambil hifa jamur dengan ujung jarum dan diletakkan pada permukaan kaca objek, kemudian diberi pewarna yakni *lactophenol cotton blue*, setelah itu, preparat ditutup dengan cover glass dan diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 400×. Ciri-ciri mikroskopis yang diamati meliputi struktur hifa dan struktur reproduksi. Identifikasi jamur mengacu pada buku identifikasi *Illustrated General of Imperfect Fungi* (Barnett dan Hunter, 1998). Setiap isolat murni disimpan dalam stok agar sebagai kultur stok murni serta disimpan pada suhu 4°C.

III.6.3. Pembuatan Larutan Stok

Pembuatan larutan Cu (II) stok dilakukan dengan melarutkan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ kedalam air suling (Iskandar, 2011). Konsentrasi $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang akan digunakan yaitu 100 dan 200 mg/L. Untuk membuat larutan stok dengan konsentrasi 1000 mg/L dibutuhkan 3,92 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan 1 Liter aquades steril pada erlenmeyer, untuk memperoleh larutan stok logam yang dibutuhkan maka dilakukan pengenceran menggunakan Persamaan (1):

$$V1 \times C1 = V2 \times C2 \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- V1 : volume larutan stok digunakan,
- C1 : konsentrasi logam dalam larutan stok,
- V2 : volume agar-agar.
- C2 : konsentrasi logam dalam agar-agar,

III.6.4. Peremajaan Mikrofungi *Aspergillus* sp.

Isolasi mikrofungi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan koleksi dari laboratorium Mikrobiologi Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-raniry. Kode isolat yang akan diremajakan yaitu *Aspergillus* sp. FS1, isolat FS2 dan isolat FS3. Sihombing dkk. (2015), fungi yang telah diisolasi sebelumnya diambil 5 mm menggunakan core borer yang akan dimasukkan kedalam cawan petri yang telah berisi media PDA. Cawan petri yang telah diinokulasikan fungi tersebut kemudian diinkubasi dengan suhu 36⁰C hingga terjadinya pertumbuhan dan perkembangan pada fungi tersebut. Estimasi waktu yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan fungi ini yaitu minimal 3 hari dan maksimal akan terlihat setelah 7 hari.

III.6.5. Karakterisasi Fungi *Aspergillus* sp.

Karakterisasi pada isolat jamur dilakukan dengan pengamatan ciri-ciri makroskopik dan mikroskopik. Karakterisasi secara makroskopik ini dilakukan dengan pengamatan isolat jamur yang telah murni meliputi warna koloni, bentuk koloni, tekstur koloni serta elevasi pada koloni, sedangkan metode mikroskopik dilakukan dengan cara meneteskan *methylene blue* yang telah diinokulasikan isolat jamur dan diamati dengan menggunakan mikroskop (Yunaedi dkk., 2016).

III.6.6. Penapisan Mikrofungi *Aspergillus* sp. Toleran Cu

Prosedur ini dilakukan untuk memilih isolat *Aspergillus* sp. isolat FS1, isolat FS2, dan isolat FS3 yang toleran terhadap Cu. Media padat disiapkan dengan menuangkan 2 mL larutan stok Cu (II) ke dalam 18 mL PDA yang disterilkan ke dalam botol erlenmeyer dengan konsentrasi Cu (II) yang diinginkan sebesar 100 dan 200 mg/L. Miselium *Aspergillus* yang telah diremajakan pada media PDA dipotong pada bagian pinggir dengan *cork borer* ukuran diameter 5 mm dan diletakkan pada media PDA yang telah mengandung Cu dengan berbagai konsentrasi (Iskandar, 2011). Kemudian diinkubasi pada suhu 36⁰C selama 5-10 hari. Dan diamati perubahan pada setiap harinya untuk melihat pertumbuhan miseliumnya. Skrining ini

dilakukan sebanyak 3 ulangan. Isolat yang berhasil tumbuh dengan baik ditandai dengan pembentukan miselium yang baik dan cepat memenuhi cawan petridish, dan mirip dengan pertumbuhan isolat *Aspergillus* yang ditumbuhkan pada media PDA tanpa penambahan Cu.

Menurut Andriyanti (2019), Pengaruh dari masing-masing konsentrasi logam terhadap pertumbuhan isolat dihitung dengan mengukur diameter pertumbuhan fungi dan dibandingkan dengan kontrol (tanpa logam). Indeks toleransi logam berat dihitung dengan Persamaan:

$$Ti = \frac{Dt}{Du}$$

Keterangan:

Ti = indeks toleransi logam berat

Dt = diameter koloni (cm) yang telah diberi perlakuan logam berat

Du = diameter koloni (cm) yang tidak diberi perlakuan logam berat (kontrol)

Menurut Oladipo dkk. (2018), Toleransi logam berat jamur dinilai sebagai berikut:

1. 0,00–0,39 (toleransi sangat rendah),
2. 0,40–0,59 (toleransi rendah),
3. 0,60–0,79 (toleransi sedang),
4. 0,80–0,99 (tinggi toleransi),
5. 1,00–>1,00 (toleransi sangat tinggi).



Gambar III. 5. Miselium *Aspergillus* sp



Gambar III. 6. Potongan hifa



Gambar III. 7. Potongan hifa dipindahkan pada media PDA
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

III.6.7. Uji Toleransi

Menurut Liaquat dkk (2020), berdasarkan toleransi terhadap Cu, Cd, Cr dan Pb pada 2000 ppm dapat digunakan untuk lima strain jamur, isolat menunjukkan toleransi pada konsentrasi ini dikenakan kisaran yang lebih tinggi dari 3000, 4000, 5000 dan 6000 ppm. Selanjutnya, isolat jamur menunjukkan penghambatan pertumbuhan pada 2000 ppm kemudian ditumbuhkan lebih lanjut pada konsentrasi yang dikurangi yaitu (100, 300, 500, 700, 1000 dan 1500 ppm). Selanjutnya diambil miselium jamur dengan diameter sebesar 0,3 cm, ditempatkan pada media PDA, ditambahkan logam berat Cu, kemudian media PDA yang telah diberikan isolat tanpa logam maka akan menjadi sebagai media kontrol.

Berdasarkan hasil modifikasi penelitian ini konsentrasi yang digunakan yaitu pada 100 dan 200 ppm dengan menggunakan logam tembaga (Cu) serta menggunakan 0 ppm sebagai media kontrol terhadap fungi, selanjutnya isolat ditumbuhkan pada 3 kode isolat menggunakan *cork borer* dengan diameter 0,5 cm yaitu FS1, FS2 dan FS3 masing-masing dilakukan 2 kali pengulangan, waktu inkubasi yang digunakan yaitu 24, 48, 72, 96 dan 120 jam, disetiap 24 jam sekali dilakukan pengukuran dengan menggunakan jangka sorong.

III.8. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan meminimalisir kesalahan dalam penyusunan data, analisis data pada penelitian ini yaitu menggunakan *Microsoft Excel*, hasil-hasil yang telah diperoleh selama penelitian berlangsung disampaikan secara deskriptif dengan menampilkan data dalam bentuk tabel dan grafik, hasil yang ditampilkan adalah parameter fisik dan kimia sungai Krueng Aceh, indeks toleransi, grafik indeks toleransi, pertumbuhan fungi.



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil

IV.1.1. Parameter Fisik dan Kimia Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada Sungai Krueng Aceh di titik sampel 2 dan 6 dengan Koordinat titik sampel 2 yaitu: Latitude: 5°33'11.25"N Longitude: 95°19'55.48"E, Koordinat titik sampel 6 yaitu: Latitude: 5°34'15.55"N Longitude: 95°19'19.14"E, beberapa parameter baku mutu standar fisik dan kimia maupun baku mutu yang melebihi ambang batas terhadap pengaruh pertumbuhan fungi di perairan Sungai Krueng Aceh, maka diperoleh beberapa parameter mulai dari parameter pH, Turbiditas, TDS, TSS, DO dan COD, Hasil pengukuran parameter fisik dan kimia dapat dilihat pada Tabel IV.1, yaitu:

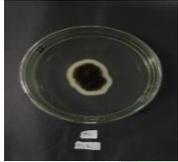
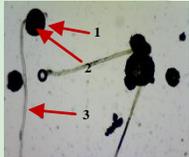
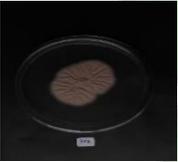
Tabel IV. 1. Parameter Fisik dan Kimia

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Titik Sampel		Keterangan
				2	6	
1	pH		6-9	7,6	6,9	PP NO. 22 Tahun 2021
2	Turbiditas	NTU	25	63,2	99,9	PERMENKES NO. 32 Tahun 2017
3	TDS	Mg/L	1000	222	170	PP NO. 22 Tahun 2021
4	TSS	Mg/L	100	300	400	PP NO. 22 Tahun 2021
5	DO	Mg/L	3	11,1	11,1	PP NO. 22 Tahun 2021
6	COD	Mg/L	40	148	150	PP NO. 22 Tahun 2021

IV.1.2. Karakteristik Mikrofungi *Aspergillus* sp.

Berdasarkan hasil karakterisasi mikrofungi maka diperoleh beberapa hasil dari bentuk mikrofungi FS1, FS2 dan FS3, berikut dapat dilihat pada Tabel IV.2 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021), yaitu:

Tabel IV. 2. Karakteristik Morfologi Mikrofungi *Aspergillus* sp.

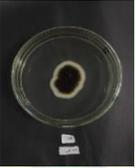
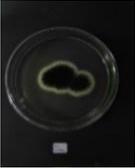
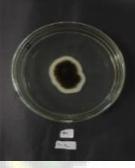
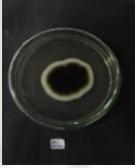
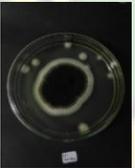
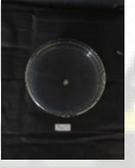
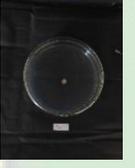
No	Kode Isolat	Gambar		Morfologi Jamur			Keterangan
		Tampak atas	Mikroskopis	Warna Koloni	Tekstur Koloni	Elevasi	
1	FS1			Hitam Tua	Cekung di tengah	Membukit	1. Konidia bulat 2. Vesikal ganda 3. Konidiofor tunggal
2	FS2			Cream Tua	Butiran	Membukit	1. Konidia bulat 2. Memiliki fialid 3. Vesikal ganda 4. Konidiofor tunggal
3	FS3			Cream Tua	Butiran	Membukit	1. Konidia bulat 2. Memiliki fialid 3. Vesikal ganda 4. Konidiofor Tunggal

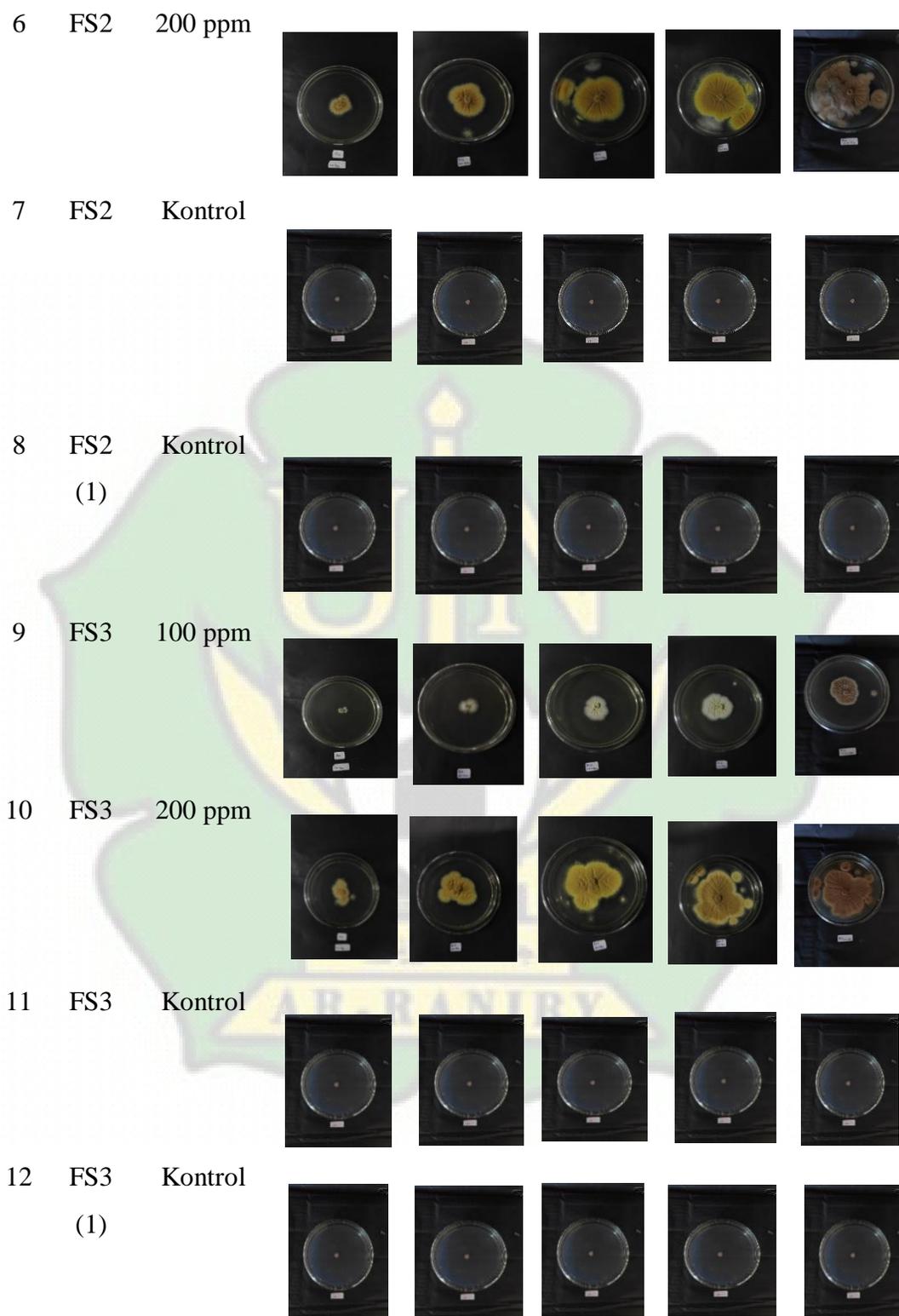


IV.1.3. Kemampuan Toleransi Fungi *Aspergillus* sp.

Toleransi fungi terhadap Cu dapat dilihat melalui pengukuran pertumbuhan diameter *Aspergillus* sp. data dapat dilihat pada tabel IV.3. berikut adalah tabel ukuran hifa:

Tabel IV. 3. Ukuran hifa

No	Kode Isolat	Konsentrasi	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	120 Jam
1	FS1	100 ppm					
2	FS1	200 ppm					
3	FS1	Kontrol					
4	FS1 (1)	Kontrol					
5	FS2	100 ppm					

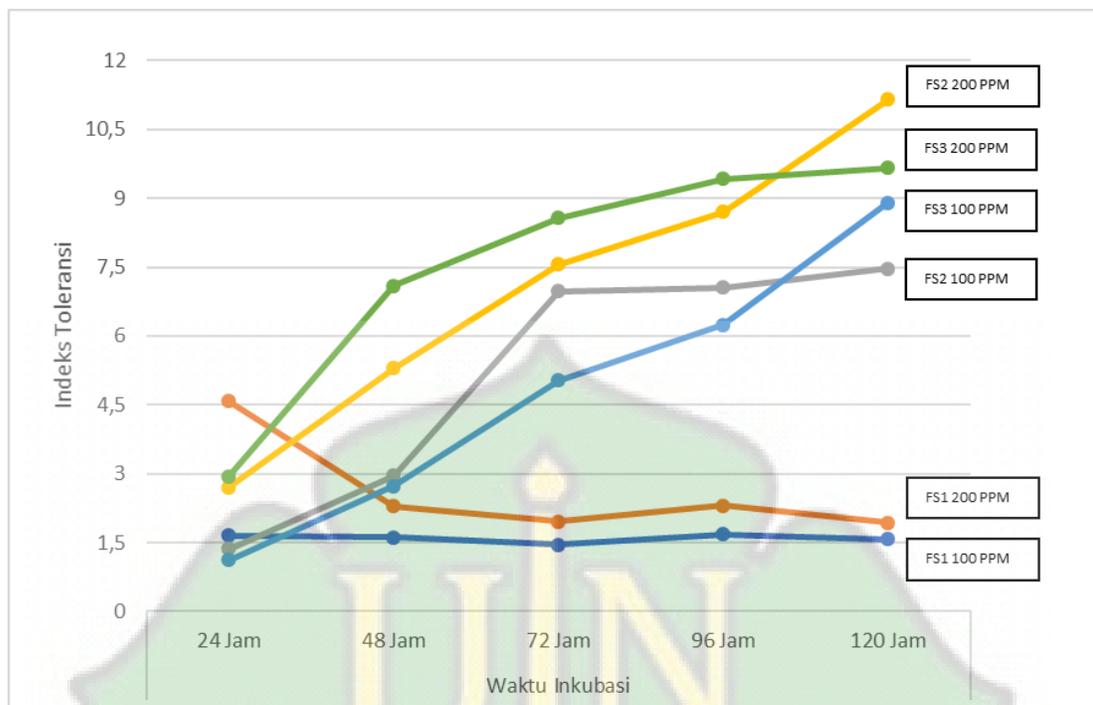


IV.1.4. Indeks Toleransi Fungi

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong ditemukan hasil ukuran rata-rata, untuk ukuran fungi dengan konsentrasi 0, 100 dan 200 ppm pada tabel IV.5, yaitu:

Tabel IV. 4. Indeks Toleransi Fungi

No	Kode Isolat	Konsentrasi	Waktu Inkubasi					Keterangan
			24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	120 Jam	
1	FS 1	100 ppm	1,65	1,62	1,45	1,68	1,57	Toleransi Sangat Tinggi
2	FS 1	200 ppm	4,58	2,29	1,96	2,3	1,93	Toleransi Sangat Tinggi
3	FS 2	100 ppm	1,36	2,96	6,97	7,06	7,47	Toleransi Sangat Tinggi
4	FS 2	200 ppm	2,7	5,3	7,56	8,71	11,16	Toleransi Sangat Tinggi
5	FS 3	100 ppm	1,12	2,73	5,03	6,24	8,91	Toleransi Sangat Tinggi
6	FS 3	200 ppm	2,94	7,09	8,57	9,42	9,67	Toleransi Sangat Tinggi



Gambar IV. 1. Grafik Indeks Toleransi

No	Indeks Toleransi	Keterangan
1	0,00-0,39	Toleransi sangat rendah
2	0,40-0,59	Toleransi rendah
3	0,60-0,79	Toleransi sedang
4	0,80-0,99	Toleransi tinggi
5	1,00->1,00	Toleransi sangat tinggi

Tabel IV. 5. Toleransi Logam Berat Jamur

Sumber: Oladipo dkk. (2018), Tabel IV.5. indeks toleransi logam berat jamur.

IV.2. Pembahasan

IV.2.1. Parameter fisik dan kimia terhadap baku mutu titik sampling

Hasil pengukuran parameter pH yang didapatkan pada titik 2 adalah 7,6 dan pada titik 6 adalah 6,9. Berdasarkan baku mutu pada PP No. 22 Tahun 2021 parameter pH standar yang baik untuk lingkungan adalah 6-9, maka dapat disimpulkan bahwa di titik 2 dan titik 6 ambang batas parameter pH tersebut tidak mengalami kerusakan. Menurut Syaifuddin (2017), kebanyakan jamur tidak dapat tumbuh pada angka pH kisaran 10 kecuali pada angka pH 2-8, tetapi biasanya pertumbuhannya akan lebih baik pada kondisi asam atau pH rendah. Menurut Sari (2017), nilai rata-rata pH pada pertumbuhan fungi antara 6-7 karna biasanya pertumbuhan akan baik apabila pada kondisi asam atau pH rendah. Berdasarkan parameter pH diatas maka fungi *Aspergillus* sp. dapat tumbuh di titik sampling tersebut.

Pada hasil pengukuran turbiditas di titik 2 yaitu 63,2 NTU dan di titik 6 yaitu 99,9 NTU, berdasarkan baku mutu yang mengacu pada PERMENKES No. 32 Tahun 2017 parameter baku mutu standar turbiditas pada perairan yaitu sebesar 25 NTU, maka dapat disimpulkan bahwa baku mutu yang terdapat pada titik 2 dan titik 6 melebihi ambang batas dan mencemari lingkungan, salah satu indikator kekeruhan pada air tersebut diakibatkan oleh banyaknya aktivitas masyarakat mulai dari limbah pasar, pembuangan sampah di sekitar lokasi tersebut, pembuangan limbah rumah tangga seperti *Gray Water* yang tidak melalui tahap filtrasi kemudian dibuang ke saluran pembuangan yang kemudian dialiri ke area Sungai Krueng Aceh sehingga meningkatkan kekeruhan pada perairan tersebut.

Hasil pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) di titik 2 yaitu 222 Mg/L dan di titik 6 yaitu 170 Mg/L, berdasarkan baku mutu yang mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021 parameter standar TDS yaitu 1000 Mg/L, maka daripada itu parameter baku mutu TDS dititik 2 dan di titik 6 masih berada pada parameter standar dan sesuai dengan baku mutu parameter TDS tersebut.

Pada hasil pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS) di titik 2 yaitu 300 Mg/L dan di titik 6 yaitu 400 Mg/L. Berdasarkan baku mutu yang mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021 parameter standar TSS yaitu 100 Mg/L, maka dapat diketahui bahwa parameter di titik 2 dan di titik 6 melebihi ambang batas, salah satu indikator parameter ini melebihi ambang batas disebabkan oleh aktivitas pembangunan di lokasi itu serta banyaknya lahan terbuka sehingga pencemar dan sedimen dapat langsung masuk ke badan air di titik sampling tersebut, selain itu banyaknya pembuangan sampah oleh masyarakat ke badan sungai juga menjadi salah satu penyebab tingginya parameter TSS ini.

Hasil pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO) di titik 2 yaitu 11,1 Mg/L dan di titik 6 yaitu 11,1 Mg/L. Berdasarkan baku mutu yang mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021 parameter standar DO yaitu 3 Mg/L, maka daripada itu parameter di titik 2 dan di titik 6 melebihi ambang batas. Menurut Apriadi & Panjaitan (2019), *Dissolved Oxygen* (DO) sebesar 7,1 – 7,46 Mg/L penurunan nilai kualitas perairan dapat menurunkan keanekaragaman jenis-jenis mikrofungi yang terdapat di perairan.

Pada hasil pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) di titik 2 yaitu 148 Mg/L dan di titik 6 yaitu 150 Mg/L. Berdasarkan baku mutu yang mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021 parameter standar COD yaitu 40 Mg/L. Maka daripada itu pengukuran parameter COD di titik 2 dan di titik 6 melebihi ambang batas. Menurut Haerun (2017), pada penelitiannya nilai COD sangat tinggi yaitu 9,729 mg/L, hal ini menunjukkan bahwa dalam air limbah jumlah bahan pencemar organik yang persisten sangat besar yang dapat menyebabkan biota perairan mati. Sehingga dapat disimpulkan makin tinggi parameter COD di titik tersebut maka dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan *Aspergillus* sp.

IV.2.2. Karakteristik Fungi *Aspergillus* sp.

Menurut Amelia dkk (2020), berdasarkan penelitian pengambilan sampel pada perairan Pulau Kabung, Kalimantan Barat menemukan hasil pengamatan 6 isolat yang diperoleh teridentifikasi sebagai fungi, lima isolat yang teridentifikasi salah satunya termasuk kedalam genus *Aspergillus*, memiliki hifa septat dan memiliki konidia. Karakteristik morfologi merupakan tahap awal yang dilakukan dalam mengidentifikasi suatu jamur, identifikasi yang dilakukan bisa secara makroskopik dan mikroskopik, pada identifikasi makroskopik meliputi morfologi koloni dan miselium yang tumbuh, sedangkan pada identifikasi mikroskopik meliputi bentuk spora dan susunan hifa.

Hasil karakterisasi morfologi pada isolat FS1 yaitu tampak atas terlihat berwarna hitam tua, tekstur koloni yang dihasilkan membentuk cekung ditengah, serta elevasi yang dihasilkan membentuk umbonate, maka dapat disimpulkan bahwa fungi yang tumbuh merupakan fungi *Aspergillus niger*. Menurut Sari (2017), berdasarkan hasil penelitian morfologi koloni *Aspergillus niger* yang tumbuh pada medium PDA yang diinkubasi selama 5-7 hari, tampak berwarna coklat sampai hitam dengan pinggiran putih dan struktur luar konidia tumbuh mengelilingi vesikel hingga berbentuk bulat. Menurut Sinaga dkk (2020), dalam penelitiannya hasil karakteristik morfologi *Aspergillus niger* ciri makroskopisnya memiliki warna hitam secara merata sedangkan secara mikroskopis diameter konidia *Aspergillus niger* adalah 3,2 μm , panjang vesikel mencapai 48,69 μm dan panjang vialid 5 μm , sementara diameter konidia *Aspergillus niger* adalah 3,7-4,5 μm dan panjang vialid 7-13,8 μm .

Hasil karakterisasi morfologi pada isolat FS2 yaitu tampak atas terlihat berwarna cream tua, tekstur koloni yang dihasilkan membentuk butiran, serta elevasi yang dihasilkan membentuk membukit, maka dapat disimpulkan bahwa fungi yang tumbuh merupakan fungi *Aspergillus* sp. Menurut Apriadi dan Panjaitan (2019), dalam penelitiannya karakteristik morfologi *Aspergillus* Sp. 2 yang dijumpai di perairan Madong, Kota Tanjung Pinang yaitu bentuk konidia panjang, konidia berbentuk seperti bunga, serta hifa bersekat. Menurut Sinaga dkk. (2020), *Aspergillus* sp. memiliki warna permukaan dan sebalik koloni warna coklat, hasil pengukuran

tubuh mikroskopis fungi yaitu diameter konidia *Aspergillus* sp. 2 adalah 13,3 μm , panjang konidiofor 265,98 μm , panjang vesikel 48,69 μm dan panjang fialid 6,9 μm .

Hasil karakterisasi morfologi pada isolat FS3 yaitu tampak atas terlihat berwarna cream tua, tekstur koloni yang dihasilkan membentuk butiran, serta elevasi yang dihasilkan membentuk umbonate, maka dapat disimpulkan bahwa fungi yang tumbuh merupakan fungi *Aspergillus* sp. Menurut Sinaga dkk (2020), *Aspergillus* Sp. 3 memiliki warna permukaan koloni coklat dan cream. Fungi *Aspergillus* sp. 3 memiliki diameter konidia 3,69 μm , panjang konidiofor 344,1 μm , panjang vesikel 6,12 μm dan panjang fialid 6,33 μm .

IV.2.3. Kemampuan Toleransi Fungi *Aspergillus* sp.

Kemampuan toleransi logam dapat dilihat pada tabel (IV.3.) pada konsentrasi 100 ppm toleransi paling tinggi adalah pada isolat FS3 waktu inkubasi 120 jam yaitu 8,91. Konsentrasi 200 ppm toleransi paling tinggi pada isolat FS2 dengan waktu inkubasi 120 jam yaitu 11,16. Sedangkan pada konsentrasi 100 ppm toleransi paling rendah adalah pada isolat FS3 dengan waktu inkubasi 24 jam yaitu 1,12. Berikutnya pada konsentrasi 200 ppm toleransi paling rendah adalah pada isolat FS2 dengan waktu inkubasi 24 jam yaitu 1,36. pada isolat yang memiliki nilai konsentrasi tinggi (FS2 200 ppm) dikarenakan logam Cu merupakan logam esensial yang dibutuhkan oleh fungi dalam melakukan pertumbuhan. Sedangkan jika nilai toleransinya rendah dikarenakan kebutuhan Cu tidak mencukupi sehingga pertumbuhannya lebih rendah.

Dalam penelitian yang dilakukan pada isolat kontrol FS2 dan FS3 fungi pada isolat tersebut tidak tumbuh. Salah satu indikator yang menyebabkan isolat ini tidak tumbuh adalah media yang sudah terlalu lama disimpan pada kulkas. Hal ini menyebabkan isolat pada FS2 dan FS3 mengalami penghambatan pertumbuhan dikarenakan isolat fungi pada tempat penyimpanan telah mati. Isolat kontrol FS1 tumbuh secara baik, sehingga ketika dilakukan perhitungan indeks toleransi dengan rumus yang tertera di halaman 19, grafik pada FS1 200 ppm menurun.

Menurut Lubis (2020), fungi dapat mendekontaminasi ion logam serapan energi, presipitasi ekstraseluler dan intraseluler, konversi valensi, pada beberapa fungi logam terakumulasi pada miselium dan sporanya. Bagian luar dinding jamur berperan seperti ligan yang digunakan untuk mengikat ion logam dan mengeliminasi metal anorganik. Anahid dkk (2011), kemampuan toleransi fungi terjadi melalui 2 mekanisme yaitu pemisahan secara ekstraseluler dapat terjadi melalui khelasi dan pengikatan dinding sel. Sedangkan pemisahan secara intraseluler dapat terjadi melalui pengikatan protein atau ligan lainnya untuk mencegahnya dari kerusakan target seluler sensitif logam. Mekanisme ekstraseluler berupaya menghindarkan sel dari masuknya logam, sedangkan intraseluler bertujuan untuk mengurangi beban logam dalam sitosol.

Fungi *Aspergillus* ini sangat cocok digunakan sebagai agen bioremediasi karena mampu melakukan toleransi dengan sangat baik sehingga nanti dapat dimanfaatkan dengan aplikasi yang sangat luas terhadap lingkungan perairan tercemar, *Aspergillus* ini juga memiliki banyak kelebihan salah satunya sangat mudah ditemukan di lingkungan perairan.

Pada penelitian selanjutnya penulis menyarankan untuk melanjutkan uji biosorpsi, salah satunya untuk membuktikan bahwa dengan menggunakan agen biologis dapat melakukan toleransi terhadap logam berat salah satunya Cu, selain itu perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengoptimasi pertumbuhan *Aspergillus* sp. terhadap pengaruh pH, suhu dan waktu kontak tujuannya adalah untuk membuktikan bahwa setiap pertumbuhan fungi *Aspergillus* sp. sangat berpengaruh terhadap pH, suhu dan waktu kontak, kemudian perlu dilakukan uji lanjutan identifikasi molekuler untuk mengetahui secara spesifik hasil dari identifikasi mikroskopis dan makroskopis.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

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

1. Karakterisasi Mikroskopis FS1 *Aspergillus Niger* yaitu konidia berbentuk semi bulat, vesikel ganda, konidiofor berbentuk tunggal, secara makroskopis yaitu tampak atas berwarna hitam tua, tekstur koloni cekung ditengah, elevasi berbentuk membukit, karakterisasi mikroskopis FS2 *Aspergillus* sp. yaitu konidia berbentuk bulat, memiliki fialid, vesikel ganda, konidiofor berbentuk tunggal, secara makroskopis yaitu tampak atas berwarna cream tua, koloni butiran, elevasi membukit, karakterisasi Mikroskopis FS3 *Aspergillus* sp. yaitu konidia berbentuk bulat, memiliki fialid, vesikel ganda, konidiofor berbentuk tunggal, secara makroskopis tampak atas berwarna cream tua, koloni butiran, elevasi membukit.
2. Kemampuan toleransi paling tinggi yaitu pada isolat FS2 (120) 200 ppm, sedangkan kemampuan toleransi paling rendah yaitu pada isolat FS3 (24) 100 ppm.

V.2. Saran

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

1. Perlu dilakukan uji lanjutan yaitu uji biosorpsi untuk mengetahui tingkat toleransi terhadap tembaga (Cu).
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengoptimasi pertumbuhan *Aspergillus* sp. terhadap pengaruh pH, suhu dan waktu kontak.
3. Perlu dilakukan identifikasi secara molekuler untuk dapat mengkonfirmasi hasil dari identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, D. R., Warsidah, W., & Sofiana, M. S. J. (2020). Isolasi dan Identifikasi Fungi Berasosiasi Lamun *Thalassia hemprichii* dari Perairan Pulau Kabung. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 2(3), 102. <https://doi.org/10.26418/lkuntan.v2i3.35716>
- Anahid, S., Yaghmaei, S., & Ghobadinejad, Z. (2011). Heavy metal tolerance of fungi. *Scientia Iranica*, 18(3 C), 502–508. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.015>
- Andriani, D., Ruliati, & Wati, L. S. (2019). Identifikasi Jamur *aspergillus* sp Pada Kacang Hijau (Studi di Pasar Peterongan). In *Academia*. https://www.academia.edu/6554036/4_identifikasi_jamur
- Andriyanti, A. (2019). Isolasi dan Uji Biosorpsi Tembaga (Cu) Oleh Fungi Endofit Daun Jati (*Tectona grandis*) di Pertambangan Minyak Wonocolo, Bojonegoro, Jawa Timur. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Apriadi, T., & Panjaitan, A. B. C. (2019). Inventarisasi Mikrofungi Akuatik Pada Perairan Madong, Kota Tanjungpinang, Provinsi Kepulauan Riau. *Biospecies*, 12(1), 90–96. <https://doi.org/10.22437/biospecies.v12i1.5925>
- Christanto., L. (2017). Biosorpsi Logam Berat Cr (VI) Dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces Cerevisiae*. *Jurnal Tugas Akhir, Vi*.
- Christian, S., & Irawati, W. (2019). Uji Resistensi Isolat Khamir Yang Diisolasi Dari Limbah Industri Dirungkut, Surabaya, Indonesia. *Jurnal Bioeksperimen*, 5(1), 1–10.
- Dusengemungu, L., Kasali, G., Gwanama, C., & Ouma, K. O. (2020). Recent Advances in Biosorption of Copper and Cobalt by Filamentous Fungi. *Frontiers in Microbiology*, 11(December), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.582016>
- Ekawati, A. Y. (2019). *Optimalisasi Biosorpsi oleh Fungi Endofit Akar *Tridax procumbens* dari Tanah Tercemar Tembaga (Cu) di Pertambangan Minyak, Bojonegoro, Jawa Timur* (Issue 2). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Fidiastuti, H. R., & Lathifah, A. S. (2019). *Bioremediasi Limbah Industri, Pemanfaatan mikroba dalam pengolahan limbah industri*. Forind.

- Haerun, R. (2017). *Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Penambahan Efektif Mikroorganisme 4 Dengan Sistem Up Flow*. 4, 9–15.
- Hidayat, B. (2015). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Dengan Menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), 51–61. <https://doi.org/10.32734/jpt.v2i1.2878>
- Jayaraman, M., & Arumugam, R. (2014). Biosorption of Copper (II) by *Aspergillus flavus* (ED4). *International Journal of Science and Research*, 3(1), 335–340.
- Kallang, G. K. (2020). Mikoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Sedimen Ipal Menggunakan *Aspergillus niger* Dengan Penambahan Variasi Bulking Agent [Universitas Atma Jaya Yogyakarta]. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 4, Issue 1).
- Kurniasari, L. (2010). Pemanfaatan Mikroorganisme Bahan Baku Biosorben Logam. *Jurnal Momentum*, 6(2), 5–8.
- Kurniawan, A., & Ekowati, N. (2016). Review : Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 3(1), 36–45.
- Liaquat, F., Munis, M. F. H., Haroon, U., Arif, S., Saqib, S., Zaman, W., Khan, A. R., Shi, J., Che, S., & Liu, Q. (2020). Evaluation of metal tolerance of fungal strains isolated from contaminated mining soil of Nanjing, China. *Biology*, 9(12), 1–12. <https://doi.org/10.3390/biology9120469>
- Lotlikar, N. P. (2019). *Physiological response of fungi from marine habitats to heavy metals by. April*.
- Lubis, S. S. (2020). Bioremediasi Logam Berat Oleh Fungi Laut. *Amina*, 1(2), 91–102. <https://doi.org/10.22373/amina.v1i2.411>
- Lutfi, S. R. (2017). Bioremediasi Limbah Cair Mengandung Merkuri Menggunakan Bioreaktor Sederhana. *Program Studi Teknologi Industri Pertanian*. Universitas Brawijaya.
- Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. C., & 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.bjm.2017.06.003>

- Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S., & Diansyah, G. (2018). Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) Dan Pb (Timbal) Pada Air Dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1), 7–14. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v1i1.667>
- Purwaningsih, D., Artika, I. M., Panji, T., & Surharyanto. (2016). Biosorption Copper (Cu) and Mercury (Hg) by *Omphalina* sp . using Batch , Rotary , Biotray , and Pack Bed Flow Methods. *Jurnal Biochemistry*, 3(1), 1–12.
- Putri, A. E. (2017). *Biokumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Berdasarkan Waktu Paparannya Oleh Bakteri Endapan Sedimen Perairan Sekitar Rumah Susun Kota Makassar*. UIN ALAUDDIN MAKASSAR.
- Saad, A. M., Saad, M. M., Ibrahim, N. A., El-Hadedy, D., Ibrahim, E. I., El-Din, A. Z. K., & Hassan, H. M. (2019). Evaluation of *Aspergillus tamaris* NRC 3 biomass as a biosorbent for removal and recovery of heavy metals from contaminated aqueous solutions. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0046-5>
- Sari, R. (2017). *Identifikasi Jenis Jamur Asosiasi Kuda Laut *Hippocampus Barbouri* Yang Hidup Di Perairan Alami Dan Penangkaran*.
- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces Cerevisiae*. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(1), 29. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i1.29-35>
- Sihombing, I. K., Yunasfi, & Utomo, B. (2015). Effect of Fungi *Aspergillus flavus* , *Aspergillus terreus* and *Trichoderma harzianum* on Seedling Growth of *Avicennia officinalis*. *Jurnal Peronema Forestry Science*, 1–6.
- Silaen, C. L. (2021). *Gambaran Kandungan Kadar Logam Tembaga (Cu) Pada Air Minum Isi Ulang Systematic Review Cindy Lavinka Silaen Politeknik Kesehatan Kemenkes Ri Medan Jurusan Analis Kesehatan Prodi D-Iii Teknologi Laboratorium Medis Tahun 2021*.
- Sinaga, L., Lingga, R., Afriyansyah, B., & Hudatwi, M. (2020). Identifikasi Jamur Mikroskopik Dari Tambak Udang (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, 05(1), 17–25.
- Sudrajat, D., & Mulyana, N. (2017). Iradiasi Sinar Gamma Dosis Rendah untuk Meningkatkan Kemampuan Fungi Dalam Mereduksi Logam Berat Pb dan Cd Low Doses of Gamma Ray Irradiation to Improve The Ability of Fungi in Reducing Heavy Metal Pb and Cd. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 95–104.

- Sumarlin, & Harsono, B. (2020). Analisis logam berat tembaga (Cu) pada sungai Pampang Kelurahan Pampang Kecamatan Samarinda Utara. *Jurnal Agrokompleks*, 20(2), 12–18.
- Syaifuddin, A. N. (2017). Identifikasi Jamur Aspergillus Sp Pada Roti Tawar Berdasarkan Masa Sebelum dan Sesudah Kadaluarasa. *STIKes Insan Cendekia Medika*, 1–33.
- Waluyo, L., & Lathif, S. (2020). Analisis Bibliometri Artikel Bioremediasi pada platform Scencedirect. *Prosiding Seminar Nasional* <http://research-report.umm.ac.id/index.php/psnpb/article/view/3617>
- Wijayanti, T., & Lestari, D. E. G. (2017). Bioremediasi Limbah Tercemar Kadmium (Cd) Pada Perairan di Kabupaten Pasuruan Menggunakan Bakteri Indigen Secara Ex-situ. *Jurnal Pena Sains*, 4(2), 115–123.
- Yunaedi., Victoria, Y., Lisna, M., & Rolan, R. (2016). Isolasi dan karakterisasi Jamur Endofit Akar Merung (Captosapelta Tomentosa). *Revista Brasileira de Ergonomia*, 3(2), 80–91.



LAMPIRAN

Lampiran. 1. Pembuatan larutan Stok $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Pembuatan larutan Cu (II) stok dilakukan dengan melarutkan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam air suling (Iskandar, 2011). Konsentrasi $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang akan digunakan yaitu 100 dan 200 mg/L. Untuk membuat larutan stok dengan konsentrasi 1000 mg/l dibutuhkan 3,92 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan liter akuades steril pada Erlenmeyer, untuk memperoleh larutan stok logam yang dibutuhkan maka dilakukan pengenceran menggunakan Persamaan (1):

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2 \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- V1 : volume larutan stok digunakan,
- C1 : konsentrasi logam dalam larutan stok,
- V2 : volume agar-agar.
- C2 : konsentrasi logam dalam agar-agar,

Dik:

- Berat molekul relatif : 63,55
- Berat molekul CuSO_4 : 159,62 g/mol
- Berat $5\text{H}_2\text{O}$: 90 g/mol

$$\frac{249,55}{63,5 \times 1} = 3,92 \text{ (dalam 1000 ml)} \longrightarrow 1,96 \text{ (dalam 500 ml)}$$

Lampiran. 2. Pembuatan Larutan Uji Toleransi

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

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

Dengan:

V1 : Volume awal

V2 : Volume akhir

M1 : Konsentrasi awal logam

M2 : Konsentrasi akhir logam

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

a. 100 mg/L

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

$$V_1 \cdot 500 = 100 \times 100$$

$$V_1 = \frac{10.000}{500}$$

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

b. 200 mg/L

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

$$V_1 \cdot 500 = 100 \times 200$$

$$V_1 = \frac{20.000}{500}$$

$$V_1 = 40 \text{ mL}$$

Lampiran. 3. Hasil Pertumbuhan Fungi

Hasil pertumbuhan fungi selama 120 jam adalah sebagai berikut:

No	Waktu Inkubasi	Konsentrasi	Kode Isolat	Ukuran Hifa		
				Pengulangan 1	Pengulangan 2	
1	24 Jam	0 ppm	FS1	5,45	5,65	
			FS2	5,45	5,45	
			FS3	5,55	5,55	
		100 ppm	FS1	10,675	7,655	
			FS2	8,17	6,7	
			FS3	6,07	6,41	
	200 ppm	FS1	22,935	27,935		
		FS2	16,47	12,96		
		FS3	18,985	13,67		
		0 ppm	FS1	5,45	29,95	
			FS2	5,45	5,45	
			FS3	5,55	5,55	
2	48 Jam	100 ppm	FS1	30,095	27,33	
			FS2	14,61	17,735	
			FS3	10,55	19,82	
		200 ppm	FS1	37,915	43,46	
			FS2	30,58	27,24	
			FS3	40,55	38,245	
	0 ppm	FS1	5,45	44,2		
		FS2	5,45	5,45		
		FS3	5,55	5,55		
		100 ppm	FS1	37,245	35,24	
			FS2	36,825	37,475	
			FS3	20,765	35,08	
3	72 Jam	200 ppm	FS1	48,05	49,485	
			FS2	42,405	40,075	
			FS3	48,41	46,805	
		0 ppm	FS1	5,45	45,5	
			FS2	5,45	5,45	
			FS3	5,55	5,55	
	100 ppm	FS1	44,29	41,675		
		FS2	36,67	40,285		
		FS3	27,455	41,81		
		96 Jam	200 ppm	FS1	55,62	61,99
				FS2	51,65	43,37
				FS3	53,53	51,105
0 ppm	FS1		5,45	57,85		

5	120 Jam	0 ppm	FS2	5,45	5,45
			FS3	5,55	5,55
			FS1	53,005	46,91
		100 ppm	FS2	39,915	41,59
			FS3	35,62	63,39
			FS1	57,74	64,855
		200 ppm	FS2	67,25	54,41
			FS3	48,095	59,295



Lampiran. 4. Perhitungan Indeks Fungi

4.1. Indeks perhitungan fungi 24 jam (100 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{9,165}{5,55} = 1,65$$

$$2. \text{ (FS2) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{7,435}{5,45} = 1,36$$

$$3. \text{ (FS3) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{6,24}{5,55} = 1,12$$

4.2. Indeks perhitungan fungi 24 jam (200 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{25,435}{5,55} = 4,58$$

$$2. \text{ (FS2) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{14,715}{5,45} = 2,7$$

$$3. \text{ (FS3) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{16,3275}{5,55} = 2,94$$

4.3. Indeks perhitungan fungi 48 jam (100 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{28,7125}{17,7} = 1,62$$

$$2. \text{ (FS2) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{16,1725}{5,45} = 2,96$$

$$3. \text{ (FS3) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{15,185}{5,55} = 2,73$$

4.4. Indeks perhitungan fungi 48 jam (200 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{40,6875}{17,7} = 2,29$$

$$2. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{28,91}{5,45} = 5,30$$

$$3. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{39,3975}{5,55} = 7,09$$

4.5. Indeks perhitungan fungi 72 Jam (100 ppm)

$$1. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{36,2425}{24,825} = 1,45$$

$$2. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{38,02}{5,45} = 6,97$$

$$3. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{27,9225}{5,55} = 5,03$$

4.6. Indeks perhitungan fungi 72 Jam (200 ppm)

$$1. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{48,7675}{24,825} = 1,96$$

$$2. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{41,24}{5,45} = 7,56$$

$$3. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{47,6075}{5,55} = 8,57$$

4.7. Indeks perhitungan fungi 96 Jam (100 ppm)

$$1. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{42,9825}{25,475} = 1,68$$

$$2. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{37,6075}{5,45} = 7,06$$

$$3. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{34,6325}{5,55} = 6,24$$

4.8. Indeks perhitungan fungi 96 Jam (200 ppm)

$$1. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{58,805}{25,475} = 2,30$$

$$2. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{47,51}{5,45} = 8,71$$

$$3. (FS1) T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{52,3175}{5,55} = 9,42$$

4.9. Indeks perhitungan fungi 120 Jam (100 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{49,9575}{31,65} = 1,57$$

$$2. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{40,7525}{5,45} = 7,47$$

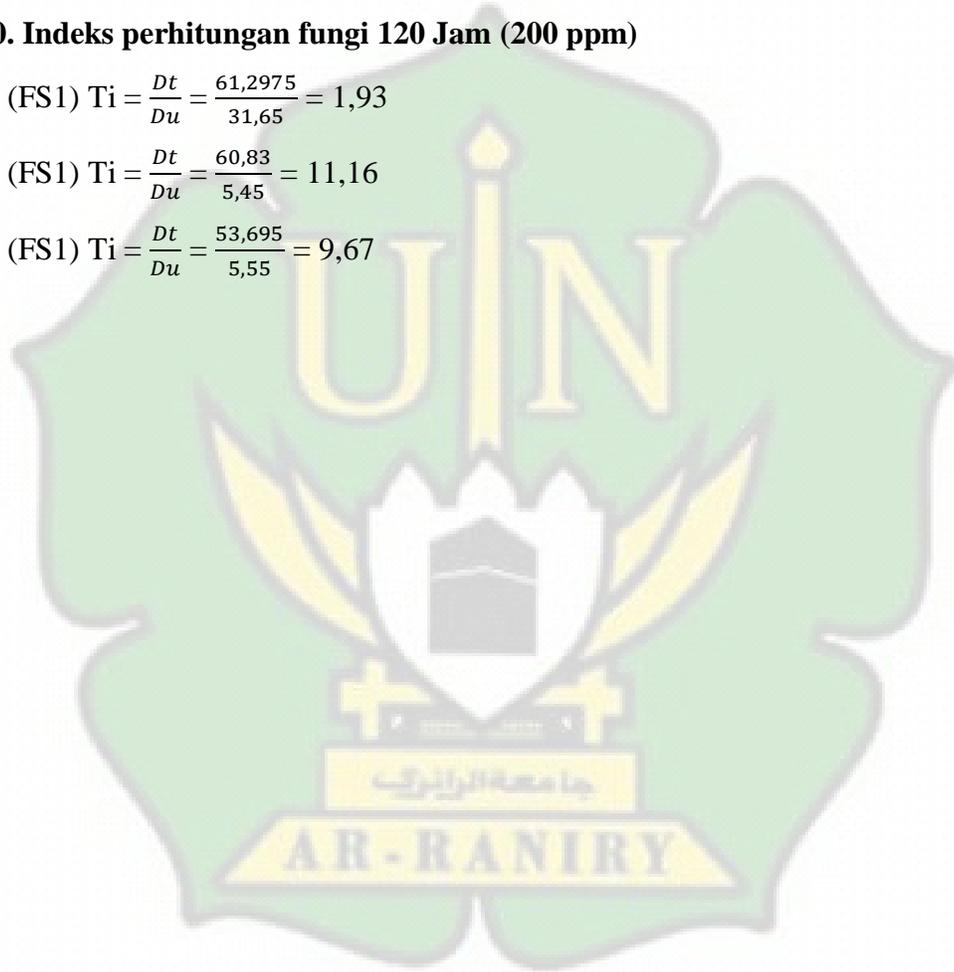
$$3. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{49,505}{5,55} = 8,91$$

4.10. Indeks perhitungan fungi 120 Jam (200 ppm)

$$1. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{61,2975}{31,65} = 1,93$$

$$2. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{60,83}{5,45} = 11,16$$

$$3. \text{ (FS1) } T_i = \frac{Dt}{Du} = \frac{53,695}{5,55} = 9,67$$



Lampiran. 5. Dokumentasi Penelitian

1. Dokumentasi Pengambilan Sampel.

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

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

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

3. Dokumentasi Proses Uji Toleransi Logam Tembaga (Cu) Pada *Aspergillus* sp.

Gambar	Keterangan
	Proses pembuatan media PDA dengan penambahan logam Cu sebanyak 100 dan 200 ppm.
	Proses pemindahan isolat <i>Aspergillus</i> sp. pada media PDA yang telah diberikan logam tembaga (Cu).

