

## TOLERANSI TEMBAGA (Cu) PADA MIKROFUNGSI ASPERGILLUS SP. YANG DIISOLASI DARI SEDIMEN SUNGAI KRUENG ACEH

Aris Munandar<sup>1\*</sup>, Syafrina Sari Lubis<sup>2</sup>, Abd Mujahid Hamdan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh

<sup>2</sup>Prodi Biologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh

<sup>3</sup>Prodi Teknik Fisika, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh

\* E-mail: syafrinasarilbs@ar-raniry.ac.id

**Abstract** : Copper (Cu) has toxic properties for the environment if it exceeds the standard quality standard, namely 0.02 mg/L. For some microbes, copper (Cu) is an essential metal that is useful for the growth of microorganisms. The existence of microbes such as microfungi can be used in the bioremediation of Cu metal in the environment. This research aims to determine the characteristics of *Aspergillus* microfungi and their ability to tolerate copper (Cu). The method used in this research was experimental. The results of morphological characteristics found that isolate FS1 was *Aspergillus niger*, isolates FS2 and FS3 were *Aspergillus* sp. The results of the tolerance test for Cu showed the highest tolerance ability, namely isolate FS2 (120) 200 ppm, while the lowest tolerance ability was isolate FS3 (24) 100 ppm.

**Keywords**: *Aspergillus* microfungi, metal tolerance, copper (Cu), Krueng Aceh

**Abstrak** : Tembaga (Cu) memiliki sifat toksik bagi lingkungan apabila melebihi baku mutu standar yaitu 0,02 mg/L. Bagi beberapa mikroba tembaga (Cu) merupakan logam esensial yang berguna untuk pertumbuhan mikroorganisme. Keberadaan mikroba seperti mikrofungi dapat digunakan dalam bioremediasi logam Cu dilingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mikrofungi *Aspergillus* dan kemampuan toleransi terhadap tembaga (Cu). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Hasil karakteristik morfologi menemukan isolat FS1 *Aspergillus niger*, isolat FS2 dan FS3 merupakan *Aspergillus* sp. Hasil uji toleransi terhadap Cu menunjukkan kemampuan toleransi paling tinggi yaitu pada isolat FS2 (120) 200 ppm, sedangkan kemampuan toleransi paling rendah yaitu pada isolat FS3 (24) 100 ppm.

**Kata kunci**: *Mikrofungi Aspergillus*, toleransi logam, tembaga (Cu), Krueng Aceh

### PENDAHULUAN

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.

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.

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. pada kondisi hidup atau mati kemampuan terhadap hifanya mampu menyerap logam berat yang ada pada limbah (Saletti, 2020),

Kallang (2020), 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 penelitian ini bertujuan untuk menguji toleransi tembaga (Cu) oleh mikrofungi *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari sedimen dasar Sungai Krueng Aceh.

## METODE

### Pengukuran Faktor Fisik dan Kimia Air

Pengukuran faktor fisik dan kimia meliputi turbiditas, *Total Dissolved Solid* (TDS), *Total Suspended Solid* (TSS), oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), *Chemical Oxygen Demand* (COD) sesuai dengan PERMENKES No. 32 Tahun 2017

### 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):

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

dengan:

- $V_1$  : volume larutan stok digunakan,  
 $C_1$  : konsentrasi logam dalam larutan stok,  
 $V_2$  : volume agar-agar.  
 $C_2$  : konsentrasi logam dalam agar-agar.

### Isolasi dan Karakterisasi 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 disebarkan pada media PDA dengan penambahan  $\text{FeSO}_4$  1% (Ishak dkk., 2011; Gupta dkk. 2014). Sampel pada media PDA diinkubasi selama 72 jam atau lebih pada suhu 30°C (Rose & 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 400x. Ciri-ciri mikroskopis yang diamati meliputi struktur hifa dan struktur reproduksi. Identifikasi jamur mengacu pada buku identifikasi *Illustrated General of Imperfect Fungi* (Barnett & Hunter, 1998). Setiap

isolat murni disimpan dalam stok agar sebagai kultur stok murni serta disimpan pada suhu 4°C.

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.

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). 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 core borer ukuran diameter 5 mm dan diletakkan pada media PDA yang telah mengandung Cu dengan berbagai konsentrasi (Iskandar, 2011). Kemudian diinkubasi pada suhu 360 C 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.

### Uji Toleransi Logam Cu

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 fungsi, 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. Indeks toleransi mengikuti rumusan berikut (Olladippo, 2018)

**Tabel 1.** 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

### 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 fungsi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengukuran Faktor Fisik dan Kimia Air

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 dan 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.

**Tabel 2.** Parameter Fisik dan Kimia

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu		Keterangan
			Titik Sampel 2	Titik Sampel 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

## Isolasi dan Karakterisasi Fungi dari Sedimen Sungai Krueng Aceh

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

**Tabel 3.** 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 filialid 3. Vesikal ganda 4. Konidiofor tunggal
3	FS3			Cream Tua	Butiran	Membukit	1. Konidia bulat 2. Memiliki filialid 3. Vesikal ganda 4. Konidiofor Tunggal

## Uji Toleransi Logam Cu

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong ditemukan hasil ukuran rata-rata, untuk ukuran fungi dengan konsentrasi 0, 100 dan 200 ppm pada Tabel 4. Indeks Toleransi Fungi yaitu:

**Tabel 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

Toleransi fungi terhadap Cu dapat dilihat melalui pengukuran pertumbuhan diameter *Aspergillus* sp. 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, 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.

## KESIMPULAN

Berdasarkan kemampuan uji toleransi Cu paling tinggi yaitu pada isolat FS2 (120) 200 ppm, sedangkan kemampuan toleransi paling rendah yaitu pada isolat FS3 (24) 100 ppm.

## DAFTAR RUJUKAN

- 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](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 Tanjung pinang, Provinsi Kepulauan Riau. *Biospecies*, 12 (1), 9096. <https://doi.org/10.22437/biospecies.v12i1.592>
- 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 tamarii* 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 Analisis 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 Kadaluarsa. *STIKes Insan Cendekia Medika*, 1–33.
- Waluyo, L., & Lathif, S. (2020). Analisis Bibliometri Artikel Bioremediasi pada platform Sciencedirect. Prosiding Seminar Nasional .... <http://research-report.umm.ac.id/index.php/psnpgb/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