

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN ISOLAT CYANOBACTERIA
DALAM REMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

AYA KHALILA

NIM. 180702037

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



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

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN ISOLAT CYANOBACTERIA
DALAM REMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)**

TUGAS AKHIR

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

Diajukan oleh:
AYA KHALILA
NIM. 180702037

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
Banda Aceh

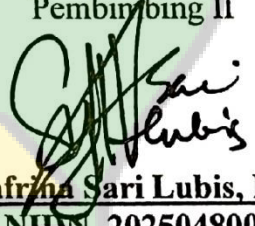
Banda Aceh, 4 Juni 2022

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 2025048003

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


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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN ISOLAT CYANOBACTERIA
DALAM REMEDIASI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)**

TUGAS AKHIR

Telah diuji oleh panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
serta diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 18 Juli 2022
19 Dzulhijjah 1443H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

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

Sekretaris,

Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 2025048003

Penguji I,

Diannita Harahap, M.Si.
NIDN. 2022038701

Penguji II,

Arief Rahman, M.T.
NIDN. 2010038901

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



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Aya Khalila
NIM : 180702037
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Efektivitas Penggunaan Isolat Cyanobacteria dalam Remediasi Logam Berat Tembaga (Cu)

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 4 Juni 2022
Yang membuat pernyataan,



Aya Khalila
NIM: 180702037

ABSTRAK

Nama : Aya Khalila
NIM : 180702037
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Penggunaan Isolat Cyanobacteria dalam Remediasi Logam Berat Tembaga (Cu)
Tanggal Sidang : 18 Juli 2022
Jumlah Halaman : 69
Pembimbing 1 : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Kata Kunci : Logam berat, Tembaga, Cyanobacteria, *Anabaena*, Bioremediasi

Bioremediasi merupakan pemulihan menggunakan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan lingkungan. Salah satu mikroorganisme yang telah diterapkan sebagai agen remediasi untuk pemulihan lingkungan adalah Cyanobacteria. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk melihat efektivitas Cyanobacteria dalam remediasi logam berat tembaga (Cu) pada berbagai konsentrasi yaitu 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm dan 5000 ppm. Sedangkan variasi waktu yang digunakan adalah 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam. Pada proses karakterisasi didapatkan tiga isolat yaitu *Anabaena*, *Nostoc* dan *Oscillatoria*. Penelitian ini berfokus pada efektivitas *Anabaena* yang menunjukkan bahwa Cyanobacteria genus *Anabaena* memiliki kemampuan dalam menurunkan nilai tembaga (Cu) dengan uji AAS. Penurunan tertinggi terdapat pada konsentrasi 4000 ppm dengan persentase penurunan sampai 99,99% pada semua variasi waktu. Penurunan terendah terdapat pada konsentrasi 5000 ppm. Pada jam ke-72 sampai 96, mengalami penurunan efektivitas dari 99,3% ke 99,91%. Hal ini menunjukkan bahwa Cyanobacteria genus *Anabaena* terbukti efektif dalam remediasi polutan logam berat tembaga (Cu).

ABSTRACT

Name : Aya Khalila
NIM : 180702037
Study Program : Environmental engineering
Title : Effectiveness of Using Cyanobacteria Isolates in Copper (Cu) Heavy Metal Remediation
Date of Thesis Conference : 18th July 2022
Number of page : 69
Thesis Advisor 1 : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Thesis Advisor 2 : Syafrina Sari Lubis, M.Si.
Keywords : Heavy metal, copper, cyanobacteria, *Anabaena*, bioremediation

Bioremediation is recovery using microorganisms to degrade environmental contaminants. One of the microorganisms that have been applied as a remediation agent for environmental restoration is Cyanobacteria. This research was conducted to determine the effectiveness of Cyanobacteria in the remediation of heavy metal copper (Cu) at various concentrations, namely 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm and 5000 ppm. While the time variations used are 24 hours, 48 hours, 72 hours and 96 hours. In the characterization process, three isolates were obtained, namely *Anabaena*, *Nostoc* and *Oscillatoria*. This study focuses on *Anabaena*'s effectiveness, which shows that the Cyanobacteria genus *Anabaena* can degrade copper (Cu) with AAS. The highest decrease was found at a concentration of 4000 ppm with a decrease of up to 99.99% at all time variations. The lowest decrease was found at a concentration of 5000 ppm. At 72 to 96 hours, the effectiveness decreased from 99.3% to 99.91%. This shows that the cyanobacteria genus *Anabaena* proved effective in remediation of copper (Cu) heavy metal pollutants.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Swt Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan kasih sayang, kesempatan dan kesabaran kepada penulis sehingga proposal ini dapat disusun dengan baik. Selawat beriring salam atas Nabi Muhammad saw, yang telah mengubah dunia dari alam kebodohan ke dunia yang penuh ilmu pengetahuan. Atas rahmat Allah Swt Yang Maha Kuasa, penulis dapat menyusun proposal penelitian dengan judul **‘Efektivitas Isolat Cyanobacteria dalam Remediasi Logam Berat Tembaga (Cu)’**.

Dalam penyusunan proposal penelitian ini, tidak terlepas dari arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pihak-pihak yang terkait di antaranya ialah:

1. Bapak Dr. Azhar Amsal, S. Pd, M. Pd. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi beserta jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan dan Koordinator Tugas Akhir Prodi Teknik Lingkungan
4. Bapak Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan kritik dan saran untuk penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang banyak memberikan saran konstruktif untuk penelitian ini.
6. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
7. Bapak Andian Aristia Anas, M.Sc. selaku dosen yang membimbing dan mendukung untuk memikirkan dan menyelesaikan tugas akhir sejak penulis masih melaksanakan KP (Kerja Praktek).
8. Seluruh dosen Teknik Lingkungan yang telah berbagi ilmu masing-masing bidang.

9. Staf operator dan pranata Laboratorium Prodi Teknik Lingkungan yang telah membantu segala urusan administrasi.
10. Kepala Laboratorium Kimia Baristand Aceh selaku pihak penguji sampel.
11. Kepala Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry.
12. Kepala Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Syiah Kuala.
13. Kepala Laboratorium Lingkungan Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala.
14. Bapak Azhari, S. Hut dan Ibu Chalidah, S. Ag. selaku orang tua yang selalu mendukung penuh dengan doa-doanya. Selalu memberi solusi atas permasalahan proposal sampai tahap skripsi ini, sebagai tempat pulang, tempat bercerita. Terima kasih ayah dan mama yang jasa-jasanya tidak bisa dibalas sampai kapan pun.
15. Bapak Syukri, S.H., M.M. yang selalu mendukung penuh baik secara moril dan materil penelitian ini sampai tahap akhir.
16. Hanni Fatuwala, Anggi Maulana, Ira Maghfirah, Nazri Adhlani, Dimas Ananda Nasution yang selalu memberikan dukungan positif kepada penulis dari awal hingga akhir.
17. Ensky yang selalu mendukung penuh lewat diskusi pengembangan teknologi bioremediasi Jerman.
18. Dan semua pihak yang bersangkutan turut ikut mendukung yang tidak bisa disebut namanya satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan. Maka dari itu, kritik serta saran sangat diharapkan untuk menyempurnakan proposal ini sehingga dapat berguna bagi penulis dan pembaca. Aamiin.

Banda Aceh, Juli 2022
Penulis,



Aya Khalila

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	3
1.3.Tujuan Penelitian	3
1.4.Manfaat Penelitian	3
1.5.Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Konsep Logam Berat	5
2.2. Tembaga (Cu)	6
2.3. Bioremediasi	8
2.4. Cyanobacteria	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Tahapan Umum	13
3.2. Lokasi Pengambilan Sampel untuk Uji Pendahuluan.....	14
3.3. Teknik Pengambilan Sampel	15
3.4. Isolasi dan Identifikasi Cyanobacteria.....	16
3.5. Uji Remediasi Cyanobacteria terhadap Logam Berat Tembaga (Cu)	17
3.6. Analisis Data.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Hasil.....	19
4.2. Pembahasan	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1. Kesimpulan	31
5.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber Antropogenik Utama Logam Berat	6
Gambar 2.2. Kultur Cyanobacteria	12
Gambar 3.1. Peta Titik Pengambilan Sampel Penelitian	14
Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel Kecamatan Indrapuri	14
Gambar 3.3. Lokasi Pengambilan Sampel Darul Imarah	15
Gambar 3.4. Lokasi Pengambilan Sampel Kecamatan Simpang Tiga	15
Gambar 3.5. Sampel tanah Kecamatan Simpang Tiga (a), Kecamatan Indrapuri (b) dan Kecamatan Darul Imarah (c)	16
Gambar 4.1. Isolasi Cyanobacteria dengan Medium BG-110	19
Gambar 4.2. Kultur Isolat I (a), II (b) dan III (c)	19
Gambar 4.3. Warna dan Lendir Isolat I (a), II (b) dan III (c)	20
Gambar 4.4. Citra Isolat I (a), II (b) dan III (c) dengan Mikroskop Cahaya Perbesar 10×	20
Gambar 4.5. Sel heterokista (a), bentuk filamen tidak meruncing (b), sel akinet (c), filamen soliter dan trikoma lurus (d) serta filamen koloni dan trikoma melengkung pada Isolat I	20
Gambar 4.6. Sel heterokista terletak jauh dari pangkal (a), bentuk filamen koloni (b), sel akinet (c) dan trikoma melengkung (d) pada Isolat II	20
Gambar 4.7. Grafik Penurunan Logam Cu dengan Isolat I	22
Gambar 4.8. Grafik Persentase Efektivitas Remediasi Logam Cu dengan Isolat I	23

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3. Spesies Cyanobacteria dan Adsorbatnya.....	12
Tabel 4.1. Identifikasi Isolat I, II dan III.....	12
Tabel 4.2. Nilai uji penurunan logam tembaga (Cu) dengan Isolat I.....	22
Tabel 4.3. Perbandingan Konsentrasi Logam dan Waktu Kontak Isolat <i>Anabaena</i>	29
Tabel 4.4. Potensi Penerapan Isolat <i>Anabaena</i> terhadap Masalah Lingkungan.....	29



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran logam berat telah menjadi masalah lingkungan global dan menarik perhatian publik yang besar karena keberadaan logam berat meningkatkan potensi asupan komponen beracun dalam organisme hidup. Akumulasi logam berat pada tubuh menyebabkan neurotoksisitas, karsinogenesis, kerusakan sel dan hilangnya fungsi seluler pada manusia (Sarwar dkk., 2017 dan Engwa dkk., 2019).

Teknik modern yang digunakan untuk pemulihan ekosistem tanah yang terkontaminasi logam berat dengan menggunakan mikroorganisme dikenal sebagai bioremediasi (Ayangbenro dan Babalola, 2017). Penggunaan mikroorganisme terbukti efektif, layak secara ekonomi untuk kepentingan ekologis karena ramah lingkungan. Penerapan penggunaan mikroorganisme dengan bioremediasi telah banyak digunakan sebagai pendekatan teknologi modern (Verma dan Kuila, 2019). Salah satu mikroorganisme yang telah diterapkan sebagai agen bioremediasi adalah *Cyanobacteria* (Zahra dkk., 2020).

Cyanobacteria disebut ganggang biru-hijau merupakan prokariota yang termasuk bakteri. Diantara prokariota, *Cyanobacteria* memiliki sifat degradasi kontaminan yang sangat bermanfaat sehingga diadaptasi sebagai teknik strategis baru untuk mengatasi masalah berhubungan dengan logam berat. Kemampuan *Cyanobacteria* tahan terhadap kondisi ekstrim menjadikannya superordinat di prokariota (Sabarinathan dkk., 2021). Menurut studi yang telah dilakukan spesies *Cyanobacteria* dapat mendegradasi logam berat tembaga (Cu) (Priyanka dkk., 2019).

Tembaga merupakan salah satu logam esensial untuk pertumbuhan dan metabolisme makhluk hidup pada konsentrasi rendah tetapi beracun dalam jumlah berlebih (Gadd, 2019). Tembaga dalam ekosistem pertanian bersumber dari penggunaan pupuk dan pestisida (Alengebawy dkk., 2021). Konsentrasi tembaga lebih dari 200 mg/kg dapat dihindari di tanah pertanian karena toksisitas yang

tinggi. Akumulasi logam tembaga dalam rantai makanan dapat menyebabkan toksisitas pada manusia menyebabkan efek samping gastrointestinal (GI) seperti sakit perut, hematemesis, melena, ikterus, anoreksia, dan muntah yang dikombinasikan dengan gastropati *erosive* (Alengebawy dkk., 2021 dan Shaw dkk., 2020).

Menurut Data Statistik Lahan Pertanian (2018) Provinsi Aceh, Kabupaten Aceh Besar memiliki lahan pertanian seluas 30.302 Ha. Luas tersebut merupakan luas lahan sawah terbesar ketiga di Provinsi Aceh. Dengan potensi persawahan tersebut, terdapat peluang kontaminasi logam berat dari aktivitas pertanian pada wilayah Aceh besar. Salah satu logam berat yang dapat masuk ke lingkungan akibat kegiatan pertanian adalah tembaga (Ameh dan Sayes, 2019).

Hazarika dkk (2015) melaporkan bahwa salah satu spesies Cyanobacteria (*N. muscorum*) memiliki kinetika penghilangan logam berat dengan penyisihan maksimum Cu(II) 87,8% pada konsentrasi 5 mg/l yang diisolasi dari lokasi penambangan batu bara. Di sisi lain, sejauh ini Cyanobacteria diketahui dapat membantu mengurangi salinitas tanah, pertumbuhan dan pembusukan, serta meningkatkan biomassa tanah. Di samping itu, Cyanobacteria dapat memperbaiki karbon atmosfer dioksida selama proses fotosintesis oksigenik. Secara keseluruhan dari studi yang dilaporkan Cyanobacteria sangat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dari sawah (Sabarinathan dkk., 2021).

Penulis telah melakukan studi pendahuluan di tiga Kecamatan (Simpang Tiga, Indrapuri dan Darul Imarah). Masing-masing lokasi terletak di lingkungan yang berbeda. Pemilihan lokasi sampel tersebut ditujukan untuk melihat jumlah kandungan logam berat tembaga yang ada pada tanah persawahan. Hasil pemeriksaan oleh Baristand Banda Aceh untuk kadar logam berat Cu pada lokasi (1) Kecamatan Simpang Tiga adanya irigasi Cu; 3.901,94 mg/kg, (2) Kecamatan Indrapuri berdekatan dengan jalan Tol Indrapuri Cu; 51,47 mg/kg dan (3) Kecamatan Darul Imarah terletak di pemukiman padat penduduk tanpa irigasi Cu; 12,19 mg/kg. Dari hasil analisis tersebut, area persawahan yang memiliki nilai Cu yang tinggi adalah Kecamatan Simpang Tiga. Pengayaan konsentrasi logam tembaga pada penelitian ini ditujukan untuk konsentrasi tembaga dari sampel

tanah sawah Kecamatan Simpang Tiga. Sejauh ini, belum ada peraturan terkait ambang batas keberadaan Cu di tanah ataupun pada area persawahan. Namun ambang batas keberadaan Cu dapat merujuk pada penelitian sebelumnya. Shaw dkk (2020) mengemukakan bahwa kadar logam berat pada tanah pertanian lebih dari 200 mg/kg dapat dihindari karena toksisitas yang tinggi.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan karakterisasi dan uji efektivitas isolat Cyanobacteria dalam remediasi tembaga. Meskipun Cyanobacteria terbukti dapat menurunkan logam berat namun belum diketahui secara pasti efektivitas Cyanobacteria yang diisolasi dari tanah sampel untuk remediasi logam tembaga sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana isolasi dan identifikasi Cyanobacteria pada sampel tanah sawah dari area persawahan Gampong Krueng Mak, Kabupaten Aceh Besar?
2. Bagaimana efektivitas remediasi dari isolat Cyanobacteria terhadap logam tembaga (Cu)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui karakteristik Cyanobacteria pada tanah sawah dari area persawahan Gampong Krueng Mak, Kabupaten Aceh Besar.
2. Untuk mengetahui efektivitas remediasi dari isolat Cyanobacteria terhadap logam tembaga (Cu).

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi peneliti, penelitian ini akan menjadi informasi pertama mengenai isolasi dan identifikasi Cyanobacteria pada sampel tanah sawah Gampong

Krueng Mak, Kabupaten Aceh Besar dan efektivitas Cyanobacteria dalam remediasi tembaga.

2. Bagi masyarakat, hasil dari penelitian ini diharapkan isolat Cyanobacteria genus *Anabaena* dapat dikembangkan serta dimanfaatkan sebagai teknologi ramah lingkungan dalam perbaikan kualitas lingkungan khususnya sebagai agen bioremediasi polutan tembaga.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada analisis Cyanobacteria terhadap logam tembaga dari hasil uji pendahuluan tanah sampel Kecamatan Simpang Tiga. Batasan penelitian yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan nutrisi dan mikro nutrisi khusus untuk pembuatan medium biasanya dipakai pada perlakuan isolasi dan pengembangbiakkan Cyanobacteria menggunakan medium cair BG-110.
2. Isolat yang digunakan merupakan isolat yang diisolasi dari tanah sampel target yaitu genus *Anabaena*.
3. Logam Cu yang digunakan adalah CuCl_2 .
4. Efektivitas remediasi diamati dari persentase degradasi logam Cu oleh *Anabaena*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Logam Berat

Secara alami, logam berat adalah logam dengan berat atom tinggi dan densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 (Zhang dkk., 2019). Logam berat adalah salah satu dari banyak komponen yang ada di tanah tetapi dalam beberapa tahun terakhir masalah terkait logam berat di lingkungan telah meningkat disebabkan oleh aktivitas manusia. Logam berat muncul dari banyak sumber seperti industri, pertambangan, dan pertanian. Dilihat dari sumbernya di sektor pertanian, logam berat dapat dikategorikan berasal dari pemupukan, pestisida, kotoran ternak, air limbah dan pupuk kandang (Masindi dan Muedi, 2018).

Banyak logam sangat penting untuk pertumbuhan dan metabolisme mikroba pada konsentrasi rendah misalnya, tembaga (Cu), besi (Fe), seng (Zn), kobal (Co), dan mangan (Mn) tetapi beracun dalam jumlah berlebih. Ion logam esensial dan tidak esensial dapat terakumulasi oleh sel mikroba oleh fisik-kimia dan mekanisme biologis. Logam beracun dan logam yang berpotensi beracun adalah istilah yang berbeda. Logam beracun adalah logam yang apabila terpapar dalam jumlah sedikit akan memberikan dampak yang besar. Sedangkan logam yang berpotensi beracun adalah logam yang apabila jumlahnya masih sedikit akan bermanfaat dan jika jumlahnya besar akan memberikan dampak yang berbahaya. Istilah logam berat digunakan dalam arti luas, dan pembahasannya akan mencakup aktinida, radionuklida logam, dan senyawa organometaloid). Semua zat ini memiliki potensi umum untuk toksisitas mikroba dan bioakumulasi, dan bersifat signifikan terhadap lingkungan sebagai polutan atau karena pengenalan sebagai biosida dan zat lainnya (Gadd, 2019).

Adapun sumber logam berat terbagi menjadi dua kelompok yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Diantara sumber alami logam berat, batuan beku dan batuan sedimen dianggap sebagai yang paling umum (Alengebawy dkk., 2021).

Industri, pertanian, pertambangan, dan air limbah dianggap sebagai sumber antropogenik dari logam berat. Sumber-sumber ini secara signifikan menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat dan pencemaran dalam ekosistem, misalnya, peleburan yang menghasilkan pelepasan Cu dan Zn sebagai insektisida yang berkontribusi untuk melepaskan As, pembakaran bahan bakar fosil yang menghasilkan Hg, dan knalpot mobil yang membantu dalam melepaskan Pb (Masindi dan Muedi, 2018). Sumber logam berat antropogenik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sumber Antropogenik Utama Logam Berat (Alengebawy dkk, 2021)

2.2. Tembaga (Cu)

Di antara logam berat, tembaga merupakan logam transisi berwarna coklat kemerahan yang memiliki nomor atom 29, massa atom 63,5 g/mol dan massa jenis 8,96 g/cm³. Tembaga adalah komponen ke-25 yang paling melimpah di kerak bumi dan logam ketiga yang paling banyak digunakan di dunia. Logam ini telah mendapatkan perhatian yang cukup besar karena sifat gandanya bagi

tanaman esensial pada tingkat optimal sementara beracun pada tingkat tinggi (Ameh dan Sayes, 2019).

Tembaga adalah salah satu dari delapan mikronutrien esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Nazir dkk., 2019). Tembaga adalah konstituen struktural dari banyak protein pengatur dan memberikan peran kunci dengan berpartisipasi dalam respirasi mitokondria, metabolisme dinding sel, transpor elektron fotosintesis, respons terhadap stres oksidatif, sintesis protein, pensinyalan hormon, dan penginderaan etilen (Nazir dkk, 2019 dan Zhang dan Li, 2019).

Karena kemampuannya dengan mudah kehilangan dan mendapatkan elektron, Cu bertindak sebagai kofaktor dalam banyak enzim seperti lakase, sitokrom c oksidase, polifenol oksidase, Cu atau Zn superoksida dismutase, amino oksidase dan plastosianin (Nazir dkk., 2019 dan Zhang dan Li, 2019). Dengan cara ini, Cu memainkan kunci peran dalam berfungsinya enzim-enzim penting ini. Beberapa dari enzim ini, memiliki Cu sebagai kofaktor, memainkan peran kunci (antioksidasi) dalam kondisi stres (Zhang dan Li, 2019). Tembaga juga telah dikaitkan dengan fosforilasi oksidatif, gabungan protein, dan pengaturan sinyal transkripsi, dan metabolisme lipid dan Fe (Ameh dan Sayes, 2019). Oleh karena itu, Cu adalah esensial nutrisi untuk berfungsinya metabolisme tanaman secara teratur. Dalam kondisi kekurangan Cu, tanaman mungkin mengalami dan menanggung gejala defisiensi Cu.

Di sisi lain, toksisitas Cu adalah jenis keracunan yang menyebabkan cacat pada sistem apapun yang berada di atas tingkat supra-optimal (Vlcek dan Pohanka, 2018). Dalam tanah pertanian, ketersediaan Cu biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pH tanah, karena ketersediaannya biasanya lebih tinggi di tanah asam daripada alkali dan bahan organik (Keiblinger dkk., 2018).

Laju akumulasi Cu yang tinggi dalam tanah sering kali disebabkan oleh kegiatan pertanian. Telah di pelajari lebih lanjut efek jangka panjang Cu pada fungsi tanah pertanian. Hasilnya, konsentrasi Cu yang lebih dari 200 mg/kg dapat dihindari di tanah pertanian karena toksisitas yang tinggi (Shaw dkk., 2020).

Tembaga termasuk polutan logam berat utama yang terjadi baik secara alami maupun antropogenik. Secara alami, ia ditemukan di bebatuan, air dan udara, sementara sumber antropogenik utamanya meliputi industri seperti pemurnian, metalurgi, pupuk, produksi papan sirkuit cetak, fungisida, manufaktur kimia, cat, drainase pertambangan, limbah pertanian dan kota, dan limpasan air hujan serta emisi lalu lintas (Ameh dan Sayes, 2019 dan Leygraf dkk., 2019).

Penggunaan pestisida dan pupuk berlebihan dalam jangka waktu lama mengakibatkan akumulasi logam berat pada tanah pertanian menurunkan kesuburan tanah, dan akibatnya menurunkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Sangat sulit untuk memulihkan lingkungan tanah setelah logam berat mencemari tanah. Cu, Zn, dan Cd memiliki potensi akumulasi yang lebih tinggi di tanah pertanian karena penggunaan pupuk dalam jangka panjang (Ai dkk., 2020 dan Wang dkk., 2020).

Selain itu, toksisitas Cu pada manusia ini disebabkan magnifikasi dari tanaman sampai masuk pada organ manusia. Cu sangat penting untuk fungsi otak, tetapi dapat menjadi racun jika konsentrasi seluler melebihi kebutuhan metabolisme. Apabila melebihi biasanya akan menyebabkan efek samping gastrointestinal (GI) seperti sakit perut, hematemesis, melena, ikterus, anoreksia, dan muntah yang dikombinasikan dengan *gastropati erosive*. Selain itu, perubahan mental, koma, sakit kepala, dan takikardia juga dapat menyertai efek samping GI (Alengebawy dkk., 2021).

2.3. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses di mana mikroorganisme digunakan untuk mendegradasi dan menghilangkan polutan dari lingkungan. Dengan kata lain, bioremediasi adalah suatu prosedur pemberantasan pencemar lingkungan dari ekosistem melalui aplikasi mikroba untuk mengembalikan ekosistem ke bentuk semula (Ayangbenro dan Babalola, 2017).

Di antara berbagai proses dalam dekade ini yang digunakan untuk pengurangan pencemaran lingkungan, bioremediasi diakui sebagai metodologi yang muncul untuk pemulihan lingkungan yang tercemar. Bakteri dan jamur telah

dilaporkan sebagai kandidat yang menguntungkan dan potensial untuk degradasi in situ dan ex situ polutan organik yang ada di lokasi yang terkontaminasi. Mikroba dapat direkayasa secara genetik untuk degradasi kontaminan lingkungan yang efisien (Singh dkk., 2019).

Bioremediasi menggunakan organisme hidup, terutama mikroorganisme (bakteri, jamur dan mikroalga) atau prosesnya untuk mendegradasi kontaminan lingkungan adalah metode yang hemat biaya dan aman bagi lingkungan untuk dekontaminasi tanah dan air yang tercemar. Penerapan penggunaan mikroorganisme dengan bioremediasi telah banyak digunakan sebagai pendekatan teknologi modern (Verma dan Kuila, 2019). Mikroorganisme tertentu, terutama Cyanobacteria, memiliki kemampuan untuk memanfaatkan kontaminan organik berbahaya sebagai sumber karbon, energi, dan menjadikannya nutrisi. Rekayasa metabolisme adalah penggunaan teknologi DNA rekombinan untuk meningkatkan aktivitas seluler. Paling sering rekayasa metabolisme berfokus pada manufaktur kimia, produksi biofuel, atau bioremediasi. Cyanobacteria adalah inang fotosintesis yang ideal untuk tujuan ini karena ada banyak strain yang dapat menerima manipulasi genetik (Soule dan Garcia, 2019).

Dalam dekade terakhir, bioremediasi menjadi metode ramah lingkungan yang telah diusulkan menjadi pendekatan yang layak untuk remediasi tanah terkontaminasi polutan. Selain menjadi metode pemulihan dengan pendekatan ramah lingkungan, dilaporkan pula metode bioremediasi memiliki keunggulan efisiensi yang tinggi, mengeluarkan biaya yang sangat rendah, mudah ditemukan, tidak berbahaya bagi ekosistem dan penerimaan oleh masyarakat tinggi (Liu dkk., 2018).

2.4. Cyanobacteria

Cyanobacteria dikenal sebagai mikroorganisme fotosintesis oksigen pertama di bumi dan telah berkontribusi pada produksi oksigen di atmosfer bumi selama tiga miliar tahun terakhir (Zahra dkk., 2020). Cyanobacteria (atau cyanoprokaryotes sebelumnya, ganggang biru-hijau, cyanophyceae,

myxophyceae, calcibionta, dan calcimicrobes) adalah filum prokariota fototrofik juga dikenal sebagai ganggang biru-hijau, dan dianggap sebagai mikroorganisme fotosintesis utama, ditemukan di berbagai lingkungan termasuk air tawar, lautan, tanah, dan batuan kosong. Mikroorganisme ini ada dalam bentuk sel individu, koloni, atau filamen. Meskipun Cyanobacteria bersifat mikroskopis, mereka dapat terlihat ketika mereka ada dalam bentuk koloni, seperti kerak atau mekar (Vachard, 2019).

Cyanobacteria memiliki mekanisme seluler yang membuatnya dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan dan tumbuh dengan mudah sebagai populasi padat dengan kecepatan luar biasa. Namun, tingkat pertumbuhan cepat mereka tergantung pada variasi tingkat nutrisi, faktor biotik, perubahan iklim, atau pemanasan global. Cyanobacteria memiliki keunggulan dalam mengatasi permasalahan terkait tanah meliputi (1) penggunaan bahan kimia pertanian yang berlebihan, (2) kontaminasi logam berat dan (3) alkalinitas dan salinitas. Kemampuan Cyanobacteria untuk bertahan dalam kondisi ekstrim membuatnya menjadi yang tertinggi dalam prokariota. Cyanobacteria juga dapat berkembang dalam kondisi hipersalin dan basa, mentolerir kondisi xerofilik, pengeringan dan suhu tinggi dan menegaskan konsentrasi logam yang tinggi (Sabarinathan dkk., 2021).

Pendekatan Cyanobacteria untuk menghilangkan polutan dari lingkungan adalah pendekatan baru untuk memerangi polusi. Cyanobacteria berada di bagian bawah rantai makanan. Mereka mengonsumsi polutan. Secara tidak langsung, Cyanobacteria melindungi organisme di puncak rantai makanan dari efek samping polusi. Cyanobacteria memiliki aktivitas yang menjanjikan dalam proses bioremediasi. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam penggunaan Cyanobacteria untuk menghilangkan polutan dari tanah (Mondal dkk., 2019), air limbah (Mondal dkk., 2019), dan penyerapan karbon udara (Chen dkk., 2019a; Chen dkk., 2019b dan Garlapati dkk., 2019). Tanah yang tercemar logam berat, pestisida, garam berlebih dapat diobati dengan Cyanobacteria baik melalui degradasi maupun akumulasi (Kumar dkk., 2017 dan Mona dkk., 2020)

Cyanobacteria memiliki peran utama dalam bioremediasi logam berat. Fotosintetik organisme umumnya membutuhkan logam yang bertindak sebagai kofaktor untuk beberapa metabolisme dan pada gilirannya mempertahankan homeostasis logam. Peran tembaga, nikel, kobalt, seng, besi, mangan dan magnesium dalam metabolisme Cyanobacterial dipelajari dengan jelas. Karenanya, Cyanobacteria mengalami akumulasi dan transformasi logam berat untuk metabolismenya, sehingga mengurangi kontaminan logam berat di tanah (Huertas dkk., 2014). Penelitian yang dilakukan oleh Hazarika dkk (2015) menguatkan penelitian Huertas dkk (2014) dimana pada penelitiannya membuktikan bahwa salah satu genus Cyanobacteria (*N. muscorum*) yang diisolat dari area pertambangan batu bara diuji coba dengan larutan logam berat tembaga (Cu) dengan konsentrasi larutan sebesar 5 ml selama 30 jam adalah hasil yang maksimum dengan kinetika penurunan logam berat tembaga (Cu) sebesar 87,8%.

Keberadaan Cyanobacteria memiliki peran besar di sawah. Sawah menyumbang cukup banyak gas rumah kaca, yang mengakibatkan pemanasan global. Gas-gas penting adalah karbon dioksida, metana dan nitrousoksida disebabkan oleh aktivitas mikroba di sawah. Cyanobacteria dalam kondisi tergenang meningkatkan konsentrasi oksigen melalui aktivitas fotosintesis, sehingga menciptakan kondisi aerobik di rizosfer padi yang akibatnya dapat mengurangi emisi metana oleh metanogen. Namun, meningkatkan aktivitas metanotrof yang mungkin dapat memanfaatkan sumber metana. Selain itu, Cyanobacteria dapat memperbaiki karbon dioksida atmosfer selama proses fotosintesis oksigenik. Selain pengurangan metana, ini mengurangi emisi oksida nitrat dari lapangan. Penggunaan pupuk nitrogen secara berlebihan di ladang yang tergenang menghasilkan emisi gas oksida nitrat, sebaliknya penyebaran Cyanobacteria memfiksasi nitrogen di sawah. Secara keseluruhan, Cyanobacteria secara krusial mengurangi emisi gas rumah kaca dari sawah. Konsorsium Cyanobacteria dan methanotrof dapat menjadi strategi inovatif untuk budidaya padi ramah lingkungan (Sabarinathan dkk., 2021)

Beberapa spesies Cyanobacteria dilaporkan dapat menurunkan kandungan logam berat. Hasil penelitian terdahulu dikumpulkan menjadi daftar tabel spesies

Cyanobacteria dan logam berat yang menjadi adsorbat. Berikut spesies Cyanobacteria dan logam yang menjadi adsorbat serta medium pendukung pertumbuhan dari jenis Cyanobacteria yang tertera dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Spesies Cyanobacteria dan Adsorbatnya

No.	Cyanobacteria	Adsorbat	Referensi
1	<i>Oscillatoria</i> sp., <i>Phormidium</i> sp., <i>Lyngbya</i> sp., <i>Aulosira</i> sp., dan <i>Scytonema</i> sp.	Cu(II), Cd(II), dan Pb(II)	(Kumar dkk., 2010)
2	<i>S. platensis</i> dan <i>Anacystis nidulans</i>	Cu dan Cd	(Azeez dan Banerjee, 1986)
3	<i>S. platensis</i> dan <i>Aphanothece flocculosa</i>	Hg ²⁺	(Cain dkk., 2010)
4	<i>Nostoc muscorum</i> dan <i>Anabaena subcylindrical</i>	Cu ²⁺ , Pb ²⁺ , Co ²⁺ , dan Mn ²⁺	(El-Sheekh dkk., 2005)
5	<i>Gloeocapsa</i> sp.	Zn, Cd, Pb, dan Cu	(Pokrovsky dkk., 2013)
6	<i>Spirulina (Arthrospira)</i> <i>platensis</i> TISTR 8217	Cd	(Rangsayatorn dkk., 2002)
7	<i>Pithophora oedogonia</i> dan <i>Spirogyra neglecta</i>	Pb ²⁺ and Cu ²⁺	(Singh dkk., 2007)
8	<i>Blue-green marine Algae</i>	Ni(II)	(Ramadoss dan Subramaniam, 2019)
9	<i>Nostoc muscorum</i>	Zn ²⁺	(Diengdoh dkk., 2017)
10	<i>Live dan dead Spirulina</i> sp.	As(V)	(Doshi dkk., 2009)



Gambar 2.2. Kultur Cyanobacteria (Kumar dkk, 2018)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Umum

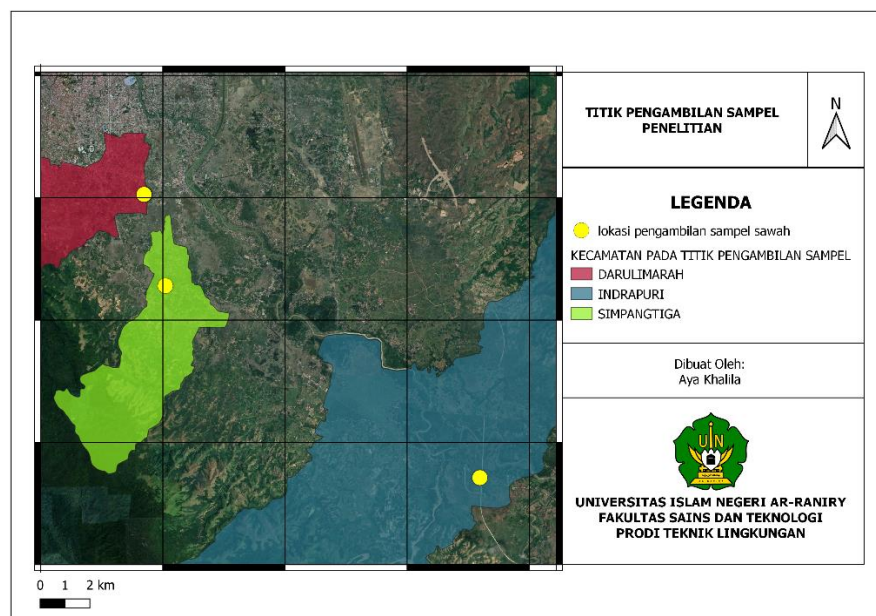
Tahapan penelitian secara umum dibagi menjadi beberapa tahapan yang dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Tahapan studi literatur. Tahapan studi literatur merupakan studi yang dilakukan untuk mengetahui informasi yang bertujuan untuk penambahan wawasan dan meningkatkan pemahaman, serta dengan mengumpulkan data terkait yang berhubungan dengan penelitian baik dari buku, jurnal maupun skripsi.
2. Tahapan studi pendahuluan. Tahapan studi pendahuluan merupakan kegiatan yang dilakukan dengan observasi lokasi yang akan menjadi tempat penelitian yaitu salah satu area persawahan di Kecamatan Simpang Tiga, Kabupaten Aceh Besar yang terdeteksi telah tercemar oleh logam berat tembaga (Cu).
3. Tahapan isolasi dan pengembangbiakkan Cyanobacteria. Tahap ini merupakan tahap eksperimen pertama dalam mengisolasi dan pengembangbiakkan Cyanobacteria dari sampel tanah yang sudah dipilih lokasinya.
4. Tahapan eksperimen Cyanobacteria terhadap larutan logam berat tembaga (Cu) sintesis. Tahap eksperimen pengujian ketahanan dan penurunan logam berat tembaga (Cu) terhadap waktu dan jumlah variasi konsentrasi yang telah ditentukan tertera pada prosedur kerja.
5. Tahapan analisis data dan hasil. Tahapan analisis data dan hasil dilakukan apabila keseluruhan tahapan analisis sampel telah selesai, data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menjadi informasi sehingga data tersebut bisa dipahami dan bermanfaat untuk solusi permasalahan, terutama menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan dalam mengambil simpulan.
6. Tahapan penarikan simpulan. Tahapan penarikan simpulan merupakan tahapan dimana menjawab pertanyaan yang timbul dari rumusan masalah

dalam penelitian ini yang dijelaskan berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh.

3.2. Lokasi Pengambilan Sampel untuk Uji Pendahuluan

Titik lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini terdapat pada tiga titik yaitu Kecamatan Indrapuri (5.506522, 95.343319), Kecamatan Darul Imarah (5.403625, 95.465443) dan Kecamatan Simpang Tiga (5.4733353, 95.3510761). Peta lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.1. Peta Titik Pengambilan Sampel Penelitian



Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel Kecamatan Indrapuri



Gambar 3.3. Lokasi Pengambilan Sampel Darul Imarah



Gambar 3.4. Lokasi Pengambilan Sampel Kecamatan Simpang Tiga

3.3. Teknik Pengambilan Sampel

Berdasarkan hasil pengukuran kadar tembaga (Cu) yang dilakukan oleh Baristand pada tiga lokasi yaitu Kecamatan Indrapuri (51,47 mg/kg), Kecamatan Darul Imarah (12,19 mg/kg) dan Kecamatan Simpang Tiga (3901,94 mg/kg), didapatkan hasil kadar tembaga yang paling tinggi dari titik lokasi pengambilan sampel tersebut adalah pada lokasi 5.4733353, 95.3510761 yaitu sebesar 3.901,94 mg/kg oleh karena itu sampel tanah untuk isolasi Cyanobacteria dan pengayaan konsentrasi yang diambil pada penelitian ini adalah konsentrasi tanah yang terdapat pada lokasi Gp. Krueng Mak, Kec. Simpang Tiga, Kab. Aceh Besar.

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan teknik *grab sampling* atau sesaat, pengambilan sampel tanah yang mengandung tembaga (Cu) dilakukan pada tanah persawahan yang terdapat irigasi dengan SNI 19-0428-1998 (SNI, 1998), dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel diambil langsung dari tanah area persawahan di Kecamatan Indrapuri, Kecamatan Darul Imarah dan Desa Krueng Mak, Kec. Simpang Tiga, Kab. Aceh Besar. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada siang hari sampai sore hari mulai pukul 15.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB.
2. Tanah diratakan dan dibersihkan dari serasah.
3. Tanah digali menggunakan cangkul dengan kedalaman (0-10 cm).
4. Tanah diberikan label dan tanggal pengambilan sampel pada plastik.

Pengambilan sampel tanah untuk keperluan mikroorganisme juga dilakukan dengan SNI 19-0428-1989 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengambilan contoh dilakukan dengan menggunakan alat jenis tombak yang steril.
2. Sampel segera dimasukkan kedalam wadah secara aseptik.



Gambar 3.5. Sampel tanah Kecamatan Simpang Tiga (a), Kecamatan Indrapuri (b) dan Kecamatan Darul Imarah (c)

3.4. Isolasi dan Identifikasi Cyanobacteria

Penelitian ini menggunakan cara eksperimental sungguhan (*True Eksperimental*) di Laboratorium Biologi dengan beberapa tahap kerja. Bahan yang digunakan tertera dalam Tabel I (Lampiran I).

Sampel tanah disiapkan dari lokasi terpilih. Tanah ditimbang lima gram per cawan petri steril dan dikering anginkan selama tujuh hari. Tanah yang sudah dikering anginkan, dituang dengan media BG-11₀ steril (Pembuatan media BG-11₀ terlampir pada Tabel II Lampiran II). Sterilisasi medium dengan autoklaf pada

suhu 121°C dan tekanan 0,1 Mpa selama 15 menit (Husen dkk., 2007). BG-11₀ dituang sampai membanjiri tanah. Inkubasi dilakukan dalam penyinaran dengan 14 jam terang dan 10 jam gelap (siklus terang-gelap) (Waterbury, 2006). Penyinaran menggunakan lampu TL 20 W (Phillips). Inkubasi dilakukan pada suhu kamar (25–30°C) selama tiga minggu. Kemudian isolat dipindahkan secara aseptis dari cawan petri kedalam erlenmeyer ukuran 125 ml sebanyak satu ose bersamaan dengan 50 ml media BG-11₀.

Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati warna koloni dan pembentukan lendir sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan dengan mengamati filamen, heterokis, akinet dan trikoma. Pada pengamatan mikroskopis kultur ditutup dengan kaca penutup dan diamati di bawah lensa objektif rendah (10×) dan daya tinggi (45×) mikroskop cahaya majemuk (Gahlout dkk., 2017). Morfologi Cyanobacteria dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya dan diidentifikasi oleh beberapa literatur termasuk Waterbury (2006) dan Castenholz dkk (2001).

3.5. Uji Remediasi Cyanobacteria terhadap Logam Berat Tembaga (Cu)

a. Pembuatan larutan *stock* larutan CuCl₂

Batch penghapusan logam berat oleh Cyanobacteria dengan *stock solution*. Tembaga (Cu) dibuat dengan dilarutkan 0,5 g CuCl₂.2H₂O merek merk dalam 100 ml air deionisasi. Konsentrasi logam tembaga (Cu) divariasikan sebanyak 2000 mg/l, 3000 mg/l, 4000 mg/l dan 5000 mg/l. Variasi konsentrasi logam berat tembaga (Cu) 2000 mg/l, 3000 mg/l dan 4000 mg/l diencerkan dari larutan induk dengan rumus sebagai berikut.

$$V_1 M_1 = V_2 M_2 \quad (3.1)$$

dengan M₁ adalah konsentrasi larutan pekat yang tersedia, M₂ adalah konsentrasi larutan yang diinginkan, V₁ adalah volume larutan pekat yang dibutuhkan dan V₂ adalah volume larutan yang diinginkan.

b. Uji remediasi logam tembaga (Cu)

Variasi konsentrasi larutan Cu 2000 mg/l, 3000 mg/l, 4000 mg/l dan 5000 mg/l ditambahkan sebanyak 0,5 ml dalam erlenmeyer kultur Cyanobacteria. Umur kultur yang digunakan adalah umur 21 hari. Inkubasi dilakukan diatas *rotary shaker* (120 rpm) selama empat hari (96 jam) (Gahlout dkk., 2017). Kultur disentrifus dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit untuk memisahkan sel dengan filtratnya (Hazarika dkk., 2015). Supernatan digunakan untuk penentuan konsentrasi logam tembaga sisa pada 327,4 nm (Sonawdekar dan Gupte, 2020). Setiap 24 jam sekali, 2 ml larutan diambil untuk diperiksa residu logam tembaga (Cu) dengan AAS (Hazarika dkk., 2015). Pengujian AAS dilakukan oleh jasa Laboratorium Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala.

Pengukuran remediasi dilakukan dua kali ulangan. Konsentrasi logam tembaga (Cu) yang mampu di remediasi oleh Cyanobacteria dan efisiensi remediasinya dapat diketahui menggunakan perhitungan pada persamaan:

$$R = K_0 - K_s \quad (3.2)$$

$$E = (R/K_0) \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan R adalah Konsentrasi tembaga (Cu) yang di remediasi oleh Cyanobacteria, K_0 adalah konsentrasi awal pengayaan tembaga (Cu), K_s adalah konsentrasi akhir Cu pada medium yang telah dipisahkan dari pellet Cyanobacteria (filtrat) dan E adalah efisiensi remediasi isolat yang telah dipisahkan. ×

3.5. Analisis Data

Data diolah dengan prauji linieritas untuk mengetahui hubungan perbedaan perlakuan variasi waktu terhadap penurunan konsentrasi logam berat tembaga (Cu) dan variasi konsentrasi logam tembaga (Cu). Oleh karena itu dilakukan uji korelasi bertujuan untuk mengetahui hubungan dua variabel (X dan Y) yang linear atau tidak secara signifikan.

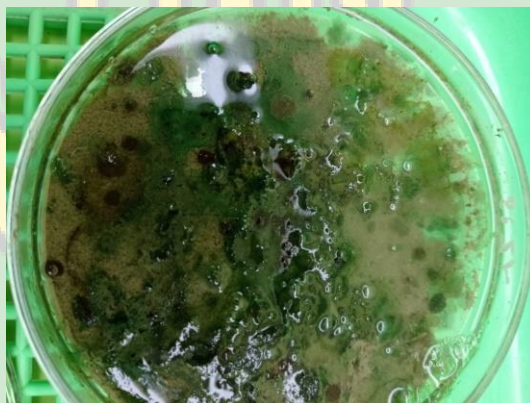
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

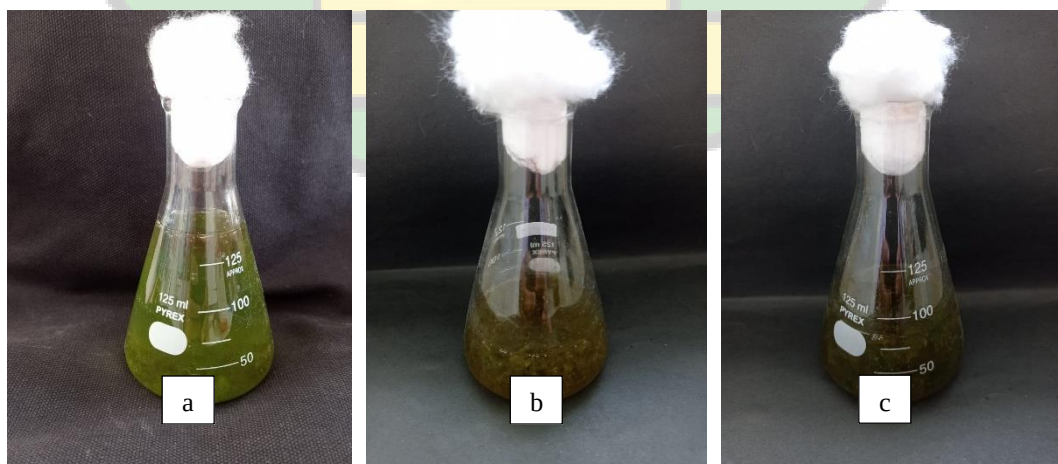
4.1. Hasil

4.1.1. Isolasi dan Identifikasi Cyanobacteria dari sampel tanah sawah

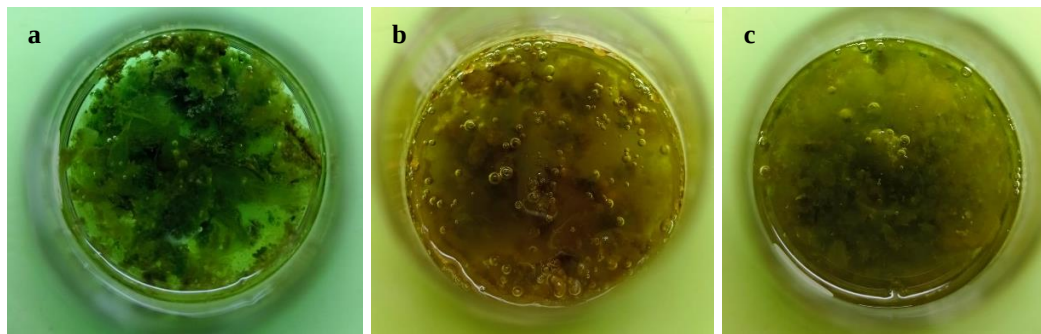
Cyanobacteria diisolasi dari tanah sawah dengan pH 5,5 dan kelembapan 8. Proses identifikasi dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Makroskopis dilihat dari warna dan lendir yang dihasilkan sedangkan mikroskopis dilihat dari filamen, akinet dan trikoma. Isolat Cyanobacteria yang diperoleh memiliki pigmen berwarna hijau karena mengandung klorofil. Di dapatkan tiga isolat Cyanobacteria dari proses tanah sampel yang dituang dengan media selektif BG (*Blue Green*)-11₀ seperti pada Gambar 4.1.



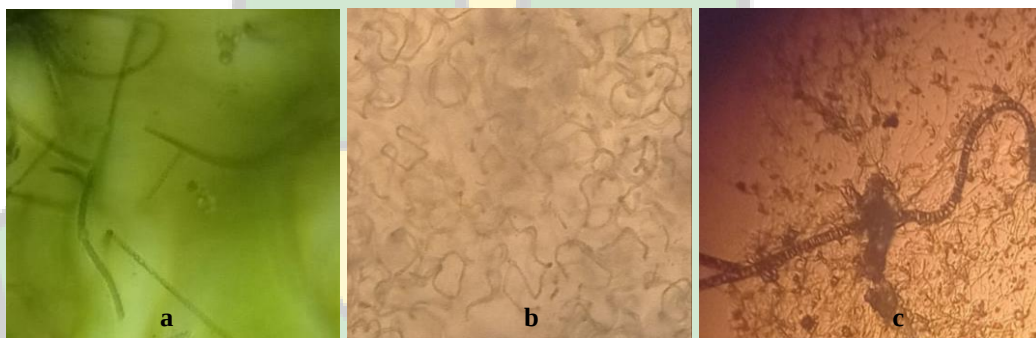
Gambar 4.1. Isolasi Cyanobacteria dengan Medium BG-11₀



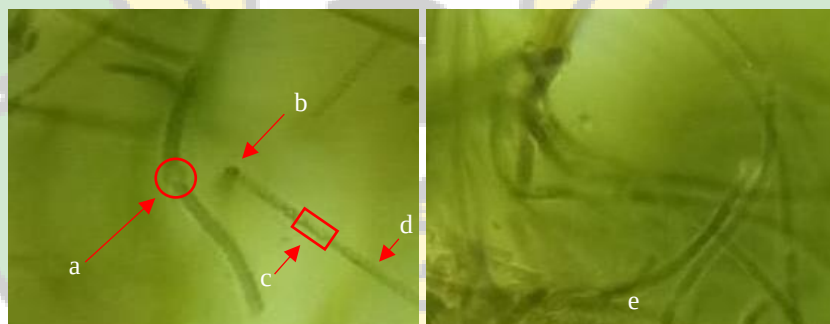
Gambar 4.2. Kultur Isolat I (a), II (b) dan III (c)



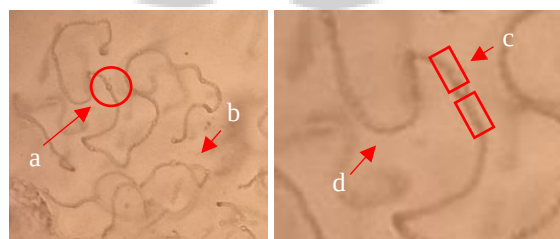
Gambar 4.3. Warna dan Lendir Isolat I (a), II (b) dan III (c)



Gambar 4.4. Citra Isolat I (a), II (b) dan III (c) dengan Mikroskop Cahaya Perbesar 10×



Gambar 4.5. Sel heterokista (a), bentuk filamen tidak meruncing (b), sel akinet (c), filamen soliter dan trikoma lurus (d) serta (e) filamen koloni dan trikoma melengkung pada Isolat I



Gambar 4.6. Sel heterokista terletak jauh dari pangkal (a), bentuk filamen koloni (b), sel akinet (c) dan trikoma melengkung (d) pada Isolat II

Tabel 4.1. Identifikasi Isolat I, II dan III

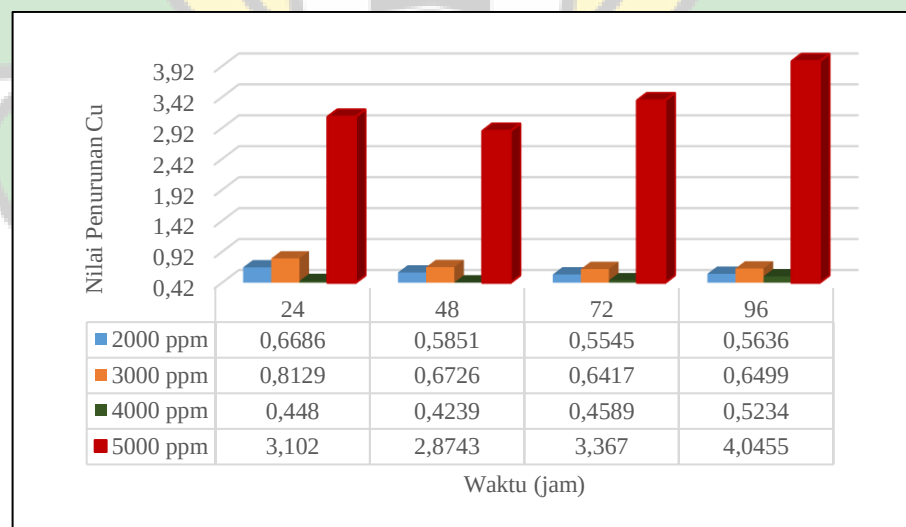
Kode Isolat	Makroskopis		Mikroskopis Perbesar 10×			
	Warna	Musilago (Lendir)	Filamen	Heterokis	Akinet	Trikoma
Cy-I (Isolat I)	<i>Forest green</i> 	Tipis	Soliter atau koloni	Terletak bersebelahan dengan sel akinet, interkalar	Berbentuk tabung, warna hijau, letak bersebelahan dengan sel heterokista	Lurus/agak melengkung
Cy-II (Isolat II)	<i>Olive green</i> 	Tebal	Koloni	Terletak jauh dari pangkal	Berbentuk tabung, letak mengapit sel heterokista	Melengkung
Cy-III (Isolat III)	<i>Army</i> 	Tipis	Soliter	-	-	Lurus

4.1.2. Efektivitas Remediasi Tembaga (Cu)

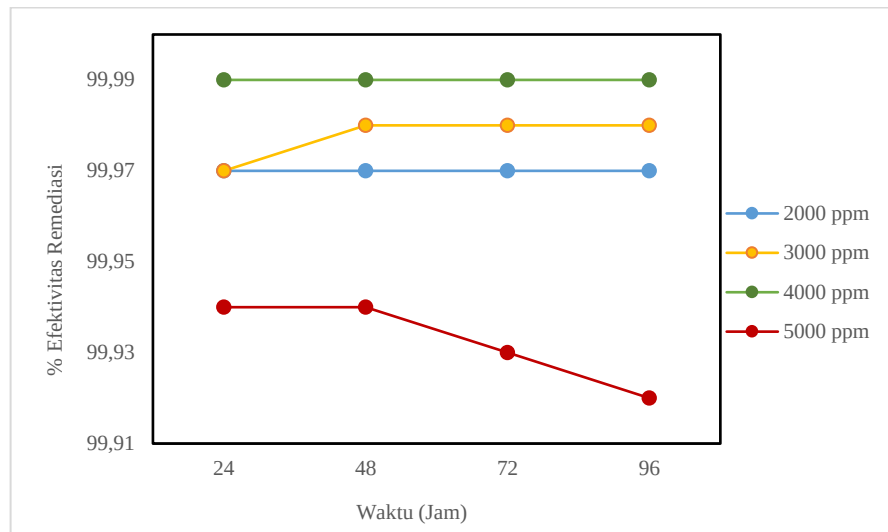
Pengujian remediasi tembaga (Cu) hanya menggunakan isolat I. Hal ini dikarenakan laju pertumbuhan isolat I lebih cepat daripada dua isolat lainnya. Ini dilihat dari banyak pertumbuhan massanya dalam waktu 21 hari. Hasil uji remediasi logam tembaga dengan isolat I menunjukkan persentase penurunan logam mencapai 99% pada semua variasi konsentrasi logam CuCl_2 sampai dengan 5000 ppm. Hanya pada konsentrasi 5000 ppm dari jam ke-48 ke-72 dan ke-96 mengalami penurunan persentase dari 99,93% ke 99,92%. Kultur yang telah diinjeksi CuCl_2 pada masing-masing variasi yang telah ditentukan mengalami perubahan warna kultur pada 24 jam pertama sampai 96 jam. Hasil uji remediasi tembaga dapat dilihat dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.2. Nilai uji penurunan logam tembaga (Cu) dengan Isolasi I

Waktu (Jam)	Awal (ppm)	Akhir (ppm)	Total reduksi (ppm)	Penurunan logam (%)
24	2000	0,6686	1999,33	99,97
	3000	0,8129	2999,19	99,97
	4000	0,4480	3999,55	99,99
	5000	3,1020	4996,90	99,94
48	2000	0,5851	1999,41	99,97
	3000	0,6726	2999,33	99,98
	4000	0,4239	3999,58	99,99
	5000	2,8743	4997,13	99,94
72	2000	0,5545	1999,45	99,97
	3000	0,6417	2999,36	99,98
	4000	0,4589	3999,54	99,99
	5000	3,3670	4996,63	99,93
96	2000	0,5636	1999,44	99,97
	3000	0,6499	2999,35	99,98
	4000	0,5234	3999,48	99,99
	5000	4,0455	4995,95	99,92



Gambar 4.7. Grafik Penurunan Logam Cu dengan Isolasi I



Gambar 4.8. Grafik Persentase Efektivitas Remediasi Logam Cu dengan Isolat I

4.2. Pembahasan

4.2.1. Isolasi dan identifikasi Cyanobacteria dari sampel tanah sawah

Dari hasil yang ditemukan, Cyanobacteria dari sampel tanah sawah Gampong Krueng Mak, Kecamatan Simpang Tiga, Kabupaten Aceh Besar, berasal dari pH tanah 5,5 (asam), sampel tanah permukaan tanah olah (0-10 cm) dan kelembapan > 8. Di dapatkan tiga isolat yang masing-masing ditandai dengan Isolat I, Isolat II dan Isolat III. Namun yang memiliki laju pertumbuhan sangat cepat adalah Isolat I (Lihat Gambar 4.3). Literatur untuk mengidentifikasi Isolat I, II dan III merujuk pada Castenholz dkk (2001) *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology* tentang *Phylum BX. Cyanobacteria*.

Berdasarkan hasil yang didapat, Isolat I memiliki ciri-ciri dalam bentuk filamen, tidak bercabang, terdapat sel heterokista, filamen soliter atau berkoloni, warna koloni hijau, musilago tidak jelas atau sangat tipis dan tidak berwarna, trikoma kebanyakan lurus atau ada beberapa yang agak melengkung, agregasi antar sel vegetatif tidak kuat, sel vegetatif berbentuk seperti tabung dan beberapa agak lonjong atau silinder. Ciri-ciri tersebut merupakan ciri dari *Anabaena*. *Anabaena* diklasifikasikan ke dalam ordo *Nostocales*, famili *Nostocaceae* dan genus *Anabaena*.

Menurut Castenholz dkk (2001), ciri khas dari *Anabaena* yaitu adanya sel heterokis. Sel heterokis ini berfungsi dalam fiksasi N₂ dan berdiferensiasi dari sel vegetatif. Bentuk sel heterokis interkalar, koloni tidak terikat dalam satu musilago besar, musilago yang dimiliki oleh satu filamen sangat tipis bahkan hampir tidak terlihat, agregasi atau pemisahan antar sel vegetatif tidak terlalu kuat atau dapat dikatakan terdapat jarak yang sangat jelas terlihat dengan seksama, bentuk filamen yang tidak meruncing dan memiliki sel akinet. Sel akinet merupakan sel yang dibentuk pada saat *Anabaena* kekurangan zat nitrogen. Sel akinet berbentuk lebih besar dan lebih lonjong daripada sel vegetatif dan sel heterokis. Warna sel akinet lebih gelap, hijau tua atau cokelat. Keberadaan sel akinet sangat penting untuk membedakan *Anabaena* dengan *Nostoc*. Perbedaan tersebut terletak pada letak sel akinet. Pada *Anabaena* sel akinet terletak bersebelahan dengan sel heterokis sedangkan pada *Nostoc* letak sel akinet yaitu diantara sel heterokis atau mengapit sel heterokis. Letak sel heterokista dan sel akinet pada *Anabaena* ditunjukkan dari hasil pengamatan mikroskop perbesar 10× pada Gambar 4.5.

Berdasarkan hasil pengamatan ciri Isolat II, ciri tersebut pada Tabel 4.1 adalah ciri dari *Nostoc*. *Nostoc* diklasifikasikan ke dalam ordo *Nostocales*, famili *Nostocaceae* dan genus *Nostoc*. *Anabaena* dan *Nostoc* merupakan genus yang umumnya ditemukan pada tanah persawahan. Dalam beberapa penelitian, *Anabaena* dan *Nostoc* adalah dua genus penting dari Cyanobacteria heterokista yang mampu menyumbangkan nitrogen ke tanah, terutama di sawah dalam memfiksasi nitrogen dan meningkatkan jumlah nutrisi tanah untuk pertumbuhan tanaman padi. Keberadaan genus ini menunjukkan tingginya tingkat kesuburan pada tanah persawahan (Fitriyani dkk., 2019 dan Thilak dkk., 2020). Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa keberadaan genus ini di lokasi sampel menunjukkan tingginya kesuburan lahan sawah Gampong Krueng Mak.

Berdasarkan hasil pengamatan ciri Isolat III, ciri tersebut merupakan ciri dari *Oscillatoria*. *Oscillatoria* diklasifikasikan ke dalam ordo *Oscillatoriales*, famili *Oscillatoriaceae* dan genus *Oscillatoria*. Dari penelitian Rajasekaran dan Raja (2021), genus *Oscillatoria* merupakan Cyanobacteria non heterokista yang berkontribusi besar terhadap ekosistem tanaman. Sebaran dan keanekaragaman

genus ini memainkan peran penting dalam ekosistem sawah. Penelitian dari Hendrayanti dkk (2018) menjelaskan bahwa pemeriksaan sampel tanah dari tahap inisiasi menunjukkan *Oscillatoria* fiksasi N₂ (nitrogen) non heterokista semakin melimpah, baik dalam jumlah maupun keanekaragaman jenisnya di sawah. Meskipun memiliki kemampuan untuk memfiksasi N₂, *Oscillatoria* tidak memiliki heterokista. *Oscillatoria* menggunakan strategi temporal yaitu sel mereduksi N₂ menjadi amonium pada malam hari ketika fotosintesis terhenti.

4.2.2. Efektivitas remediasi tembaga (Cu)

Dari penelitian sebelumnya, Cyanobacteria dari genus *Anabaena* dilaporkan mampu mengurai logam berat diantaranya arsen sebanyak 100% (Jana dkk., 2015), cadmium sebanyak 92% (NaziaTahir dkk., 2021), nikel sebanyak 100% (Parameswari dkk., 2010) dan chromium sebanyak 74,1% (Gahlout dkk., 2017). Cyanobacteria menggunakan berbagai mekanisme pertahanan untuk bertahan hidup atau mengurangi tekanan logam berat. Sintesis *exopolysaccharide* (EPS), metalothionein, protein pendamping yang paling umum sebagai bentuk pertahanan dalam tekanan logam berat. Selain itu, induksi antioksidan enzimatik dan nonenzimatik juga ditunjukkan oleh Cyanobacteria di bawah tekanan logam berat. Tiwari dkk (2018) menjelaskan Cyanobacteria sangat mudah beradaptasi yang dapat merespons perubahan, salah satunya konsentrasi logam. Mekanisme sel-sel Cyanobacteria dapat meminimalkan efek berbahaya dari logam berat dan menjaga kondisi homeostatik seluler dengan:

1. produksi *exopolysaccharide* (EPS)

Cyanobacteria memiliki lapisan lendir luar yang tebal (disintesis dari zat polimer ekstraseluler, terutama polisakarida) bernama *exopolysaccharides* (EPSs) yang berfungsi sebagai pelindung terhadap agen antimikroba serta bertindak sebagai pelindung utama terhadap logam berat. EPS adalah polimer alami dengan berat molekul tinggi yang disekresikan oleh mikroorganisme ke dalam lingkungan untuk menjaga integritas struktural dan fungsional biofilm. Di daerah yang terkontaminasi logam berat, EPS meremediasi detoksifikasi logam berat dengan bertindak sebagai agen pengikat logam. Secara aktif berpartisipasi dalam

detoksifikasi logam karena adanya gugus hidroksil, gugus fungsi yang dapat terionisasi serta rantai polimer yang terdapat pada gugus fungsi (karboksil, amida, dan hidroksil) yang berperan aktif dalam penyerapan Cu(II) serta sekuestrasi logam yang dimediasi oleh asam uronat (asam glukuronat), gugus fungsi asam EPS.

2. biosorpsi dan bioakumulasi

Sekuestrasi logam berat juga dilakukan dengan proses biosorpsi dan bioakumulasi. Biosorpsi adalah pendekatan yang dikembangkan oleh sistem Cyanobacteria untuk menjaga keseimbangan konsentrasi logam berat yang berlebihan. Biosorpsi mencakup berbagai mekanisme seperti adsorpsi, penyerapan, pertukaran ion, kompleksasi permukaan dan pengendapan dan akumulasi. Interaksi antara permukaan mikroba dan logam berat tergantung pada interaksi fisikokimia antara logam dan gugus fungsi yang ada pada dinding sel karena dinding sel Cyanobacteria terdiri dari polisakarida, lipid, dan protein yang menyediakan situs pengikatan untuk logam, proses selesai dalam beberapa menit dan reversibel karena tidak melibatkan metabolisme organisme.

Selain biosorpsi, mekanisme lain adalah bioakumulasi yang merupakan proses paling kompleks untuk toleransi logam. Dalam proses ini, logam berat terakumulasi di dalam sel yang melapisi ruang membran bagian dalam atau di dalam vakuola dan detoksifikasinya terjadi dalam dua tahap: proses pertama mirip dengan biosorpsi yang sangat cepat, dan selanjutnya, proses yang lebih lambat termasuk pengangkutan logam di dalam sel oleh sistem transpor aktif yang membutuhkan energi metabolik. Di bagian dalam sel, logam memainkan reaksi oksidasi atau reduksi yang menyebabkan hilangnya integritas dan fungsi seluler.

3. modulasi dalam indeks molekuler

Di bawah pengaruh ion logam berat strategi kelangsungan hidup Cyanobacteria meningkat hingga tingkat tertentu melalui keterlibatan pendekatan molekuler yang memberikan analisis yang lebih komprehensif. OMICS (kajian untuk mengumpulkan *blueprint*, yaitu urutan basa nitrogen yang dapat diterjemahkan menjadi protein) sangat berguna dalam memahami regulasi tekanan logam berat yang merupakan teknologi modern di bidang ilmu molekuler. Proses

pengaturan dari penyerapan logam ke translokasi dan toksisitasnya dibatasi di bawah kendali pada tingkat subseluler yang berbeda termasuk kelimpahan transkrip RNA (transkriptom) dan ekspresi protein (proteom).

Mekanisme Cyanobacteria berbeda dari bakteri lain, karena membutuhkan tembaga untuk masuk ke dalam sitosol untuk mencapai tilakoid, sistem membran internal yang terpisah dari periplasma. Dua protein esensial hadir dalam tilakoid yaitu protein tembaga biru, plastosianin, dan sitokrom oksidase tipe *caa₃*, yang masing-masing terlibat dalam proses transpor elektron fotosintesis dan respirasi (Huertas dkk., 2014).

Kondisi kultur *Anabaena* setelah diinjeksi CuCl_2 pada jam ke-24, 48, 72 dan 96 terjadi perubahan warna pada konsentrasi 4000 ppm dan 5000 ppm menjadi kelabu. Penurunan kandungan pigmen *Anabaena* dikarenakan berkurangnya biosintesis pigmen karena penghambatan biosintesis pigmen enzim. Pada dua variasi konsentrasi 4000 ppm dan 5000 ppm menunjukkan penurunan kandungan pigmen dibandingkan dengan dua konsentrasi lainnya yaitu 2000 ppm dan 3000 ppm yang masih memiliki pigmen hijau. Penurunan kandungan pigmen pada jam ke-24 remediasi dan jam berikutnya diamati, ini terjadi karena penurunan Cu intraseluler dalam sel Cyanobacteria *Anabaena* (Singh dkk., 2018).

Berdasarkan Gambar 4.3, persentase penurunan konsentrasi Cu paling tinggi terdapat pada konsentrasi 4000 ppm mencapai 99,99%. Penurunan daya reduksi pada konsentrasi 5000 ppm dari 48 jam sebanyak 99,94% ke 99,93% pada 72 jam dan menurun kembali pada 96 jam sebanyak 0,01% atau turun ke angka 99,92%. Berbeda dengan konsentrasi yang lainnya seperti 2000 ppm, 3000 ppm dan 4000 ppm menunjukkan hasil yang konstan. Pada waktu kontak 72 jam sampai 96 jam nilai penurunan pada variasi konsentrasi 5000 ppm menurun. Hal ini diperkirakan karena pada variasi konsentrasi 5000 ppm terjadi penggumpalan biomassa dalam proses remediasi, sehingga permukaan biosorben tidak sepenuhnya terbuka dalam proses penyerapan logam, sehingga hal tersebut mempengaruhi kapasitas penyerapan (Fanani dkk., 2017). Meskipun variasi konsentrasi 5000 ppm mengalami penurunan pada waktu kontak 72 dan 96,

terbilang cukup efektif dalam remediasi logam berat tembaga (Cu) karena masih menyentuh angka persentase penurunan sebanyak lebih dari 99%. Hasil persentase degradasi tidak mencapai 100% dikarenakan tidak adanya penambahan nutrisi dasar yaitu BG-110 selama waktu percobaan. Hal ini dikuatkan oleh penelitian Parameswari dkk (2010) dalam remediasi logam lain seperti Cr, Cd, Pb dan Ni yang mencapai persentase degradasi sampai 100%. Hal ini dikarenakan adanya perlakuan penambahan nutrisi dasar sedangkan pada penelitian ini tidak dilakukan. Umur isolat juga berpengaruh pada hasil degradasi, Parameswari dkk (2010) menggunakan umur 15 hari sedangkan pada penelitian ini digunakan pada umur 21 hari.

Dari Tabel 4.2, terlihat efektivitas dari *Anabaena* sudah ditunjukkan pada waktu 24 jam pertama mencapai 99,99% pada konsentrasi 4000 ppm. Adanya variasi waktu tidak begitu berpengaruh terhadap efektivitas penurunan Cu oleh *Anabaena*. Pada konsentrasi 5000 ppm terus mengalami penurunan efektivitas. Sedangkan pada 24 jam pertama konsentrasi 4000 ppm sudah menunjukkan penurunan 99,99% artinya penggunaan variasi kurang dari 24 jam berpotensi dapat menurunkan logam Cu dengan efektivitas yang lebih tinggi. Hasil dari Tabel 4.2, membuktikan bahwa *Anabaena* memiliki kemampuan remediasi Cu pada konsentrasi 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm dan 5000 ppm sehingga *Anabaena* berpotensi digunakan sebagai agen remediasi polutan logam Cu yang ada di lingkungan karena memiliki kemampuan dalam menurunkan polutan sangat baik.

Efektivitas isolat *Anabaena* dapat dilihat dari penelitian sebelumnya pada Tabel 4.3. terkait dengan jumlah konsentrasi logam dan waktu kontak isolat *Anabaena* terhadap logam. Perbandingan dibuat dalam bentuk tabulasi. Perbedaan persentase degradasi ini dikarenakan adanya perbedaan limbah yang digunakan, penggunaan jumlah biomassa pada masing-masing peneliti dan penambahan nutrisi.

Tabel 4.3. Perbandingan Konsentrasi Logam dan Waktu Kontak Isolat *Anabaena*

Logam	Konsentrasi (mg/l)	Waktu	Persentase penurunan (%)	Referensi
Ar(III)	2,5	2 hari	94,5	(Jana dkk., 2015)
	7,5	3 hari	100	
Ni	15,5	7 hari	41,61	(Parameswari dkk., 2010)
Cr	20,43	28 hari	100	
Cd	17,89	28 hari	100	
Pb	19,05	7 hari	34,5	
Cr	30	96 jam	74,1	(Gahlout dkk., 2017)
Fe	1,3	24 jam	62	(Fawzy dan Mohamed, 2017)
Pb	0,08	24 jam	83,1	
Cd	0,0005	24 jam	88,5	
Zn	2,3	24 jam	68,8	
Mn	0,17	24 jam	42,4	

Tabel 4.4. Potensi Penerapan Isolat *Anabaena* terhadap Masalah Lingkungan

Potensi Penerapan	Logam	Konsentrasi mg/l	Potensi penggunaan isolat <i>Anabaena</i>
Air limbah domestik (Parameswari dkk., 2010)	Cd	17,89	✓
	Cr	20,43	
	Ni	15,5	
	Pb	19,05	
Air limbah tekstil (Sakarika dkk., 2019)	Zn	1,99	✓
	Mn	0,03	
	Cd	0,03	
	Cu	0,07	
	Pb	0,09	
	Ni	0,03	
	As	<0,001	
	Fe	0,14	
Tanah (Baristand, 2021)	Fe	5105,44	✓
	Cu	3901,94	
	Hg	0,5	
Drainase tambang asam (Du dkk., 2022)	Fe	788	✓
	Cu	64	
	Al	310	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, Cyanobacteria genus *Anabaena* berpotensi mengatasi masalah lingkungan dengan konsentrasi tinggi. Potensi penerapan isolat Cyanobacteria genus *Anabaena* terhadap masalah lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Biomassa Cyanobacteria genus *Anabaena* hidup dapat menjadi agen remediasi polutan Cu yang dapat dipertimbangkan dalam teknologi bioremediasi karena kemampuan degradasi yang sangat cepat, laju pertumbuhan hidup cepat, dan kemampuan pertahanannya dari logam Cu sangat baik meskipun dalam konsentrasi logam yang terbilang sangat tinggi. Penelitian ini membuktikan bahwa Cyanobacteria genus *Anabaena* adalah mikroorganisme yang sangat baik untuk program bioteknologi di masa yang akan datang karena kemampuannya untuk menghilangkan logam berat Cu maupun logam berat lainnya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian uji efektivitas penggunaan isolat Cyanobacteria khususnya genus *Anabaena* yang diisolasi langsung dari lokasi pengambilan sampel yaitu area persawahan Gampong Krueng Mak, Aceh Besar dapat disimpulkan bahwa:

1. Isolasi dan identifikasi dari sampel tanah sawah Gampong Krueng Mak, Aceh Besar didapatkan tiga isolat yaitu genus *Anabaena*, *Nostoc* dan *Oscillatoria*. Ketiga genus ini tumbuh subur di area persawahan.
2. Penggunaan isolat Cyanobacteria genus *Anabaena* terbukti efektif dalam menurunkan kadar logam berat tembaga (Cu) dengan variasi konsentrasi 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm dan 5000 ppm pada waktu 24 sampai 96 jam dengan efektivitas degradasi mencapai lebih dari 99%.

5.2. Saran

Perlu dilakukan pengujian pH, BOD, COD, variasi biomassa, variasi suhu, variasi umur kultur rentang 7-15 hari serta variasi waktu kontak dibawah 24 jam untuk melihat efektivitas dari Cyanobacteria genus *Anabaena* lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ai, P., Jin, K., Alengebawy, A., Elsayed, M., Meng, L., Chen, M., & Ran, Y. (2020). Effect of application of different biogas fertilizer on eggplant production: Analysis of fertilizer value and risk assessment. *Environmental Technology and Innovation*, 19(13), 101019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101019>
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 1–34. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Ameh, T., & Sayes, C. M. (2019). The potential exposure and hazards of copper nanoparticles: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 71(July), 103220. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103220>
- Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2017). A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph14010094>
- Azeez, P. A., & Banerjee, D. K. (1986). Effect of Copper and Cadmium on Carbon Assimilation and Uptake of Metals by Algae. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 12(1–2), 77–86. <https://doi.org/10.1080/02772248609357151>
- Cain, A., Vannela, R., & Woo, L. K. (2010). Corrigendum to Cyanobacteria as a biosorbent for mercuric ion [Bioresour. Technol., (2008), 99, 6578-6586]. *Bioresource Technology*, 101(17), 6878. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.117>
- Castenholz, R. W., Wilмотte, A., Herdman, M., Rippka, R., Waterbury, J. B., Itean, I., & Hoffmann, L. (2001). Phylum BX. Cyanobacteria. *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*, 473–599. https://doi.org/10.1007/978-0-387-21609-6_27

- Chen, Guoshun., Cai, Yu., Su, Yingyu., Gaon, B., Wu, H and Cheng, J. (2019). Effects of Spirulin a algae as a feed supplement on nutritional value and flavour components of silkie hens eggs. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, May 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1111/jpn.13125>
- Chen, H., Li, T., & Wang, Q. (2019). Ten years of algal biofuel and bioproducts : gains and pains. *Planta*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-3066-8>
- Diengdoh, O. L., Syiem, M. B., Pakshirajan, K., & Rai, A. N. (2017). Zn 2+ sequestration by Nostoc muscorum: study of thermodynamics, equilibrium isotherms, and biosorption parameters for the metal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7), 1–13.
- Doshi, H., Ray, A., & Kothari, I. L. (2009). International Journal of Phytoremediation LIVE AND DEAD SPIRULINA SP . TO REMOVE ARSENIC (V) FROM WATER. *International Journal of Phytoremediation*, 11(December 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1080/15226510802363477>
- Du, T., Bogush, A., Mašek, O., Purton, S., & Campos, L. C. (2022). Algae, biochar and bacteria for acid mine drainage (AMD) remediation: A review. *Chemosphere*, 304(June), 135284. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135284>
- El-Sheekh, M. M., El-Shouny, W. A., Osman, M. E. H., & El-Gammal, E. W. E. (2005). Growth and heavy metals removal efficiency of Nostoc muscorum and Anabaena subcylindrica in sewage and industrial wastewater effluents. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19(2), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2004.09.005>
- Engwa, G. A., Ferdinand, P. U., Nwalo, F. N., & Unachukwu, M. N. (2019). 10.5772@Intechopen.82511.Pdf. *Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans*, 23.
- Fanani, Elystia, M. (2017). *Pemanfaatan Biomassa Alga Biru-Hijau Anabaena cylindrica dalam Proses Biosorpsi Logam Cr pada Limbah Cair Industri Elektroplating*. 2(1), 212–214.
- Fawzy, M. A., & Mohamed, A. K. S. H. (2017). Bioremediation of heavy metals

from municipal sewage by cyanobacteria and its effects on growth and some metabolites of *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Nutrition*, 40(18), 2550–2561. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1380822>

FITRIYANI, S., ATMAJA, I. W. D., & SONIARI, N. N. (2019). Genus Alga pada Lahan Sawah Organik yang Ditanami Padi Lokal dan Inhibrida di Subak Jatiluwih, Tabanan. *Agrotrop : Journal on Agriculture Science*, 9(2), 112. <https://doi.org/10.24843/ajoas.2019.v09.i02.p02>

Gadd, G. M. (2019). Heavy metal pollutants: Environmental and biotechnological aspects. *Encyclopedia of Microbiology*, July 2016, 504–517. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.13057-2>

Gahlout, M., Prajapati, H., Chauhan, P., Savande, L., & Yadav, P. (2017). Isolation, screening and identification of cyanobacteria and its uses in bioremediation of industrial effluents and chromium sorption. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 4(4), 138–146. <https://doi.org/10.22192/ijarbs>

Garlapati, D., Chandrasekaran, M., Devanesan, A., & Mathimani, T. (2019). Role of cyanobacteria in agricultural and industrial sectors: an outlook on economically important byproducts. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00253-019-09811-1>

Hazarika, J., Pakshirajan, K., Sinharoy, A., & Syiem, M. B. (2015). Bioremoval of Cu(II), Zn(II), Pb(II) and Cd(II) by *Nostoc muscorum* isolated from a coal mining site. *Journal of Applied Phycology*, 27(4), 1525–1534. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0475-3>

Hendrayanti, D., Khoiriyah, I., Fadilah, N., & Salamah, A. (2018). Diversity of N₂-fixing cyanobacteria in organic rice field during the cycle of rice crops. *AIP Conference Proceedings*, 2002(August 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5050107>

107

Huertas, M. J., López-Maury, L., Giner-Lamia, J., Sánchez-Riego, A. M., & Florencio, F. J. (2014). Metals in cyanobacteria: Analysis of the copper, nickel, cobalt and arsenic homeostasis mechanisms. *Life*, 4(4), 865–886. <https://doi.org/10.3390/life4040865>

- Husen, E., Saraswati, R., & Simanungkalit, R. D. (2007). *Soil Biological Analysis Methods*.
- Jana, A., Bhattacharya, P., Swarnakar, S., Majumdar, S., & Ghosh, S. (2015). Anabaena sp. mediated bio-oxidation of arsenite to arsenate in synthetic arsenic (III) solution: Process optimization by response surface methodology. *Chemosphere*, 138, 682–690. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.055>
- Keiblinger, K. M., Schneider, M., Gorfer, M., Paumann, M., Deltedesco, E., Berger, H., Jöchliger, L., Mentler, A., Zechmeister-Boltenstern, S., Soja, G., & Zehetner, F. (2018). Assessment of Cu applications in two contrasting soils—effects on soil microbial activity and the fungal community structure. *Ecotoxicology*, 27(2), 217–233. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1888-y>
- Kumar, D., Pandey, L. K., & Gaur, J. P. (2010). Evaluation of various isotherm models, and metal sorption potential of cyanobacterial mats in single and multi-metal systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81(2), 476–485. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.07.042>
- Kumar, S. S., Kadier, AbuduAhmad, A., & Bishnoi, N. R. (2017). Phytoremediation and Rhizoremediation: Uptake, Mobilization and Sequestration of Heavy Metals by Plants. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*, 2, 367–394. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_15
- Leygraf, C., Chang, T., Herting, G., & Odnevall Wallinder, I. (2019). The origin and evolution of copper patina colour. *Corrosion Science*, 157(May), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.05.025>
- Liu, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of the Total Environment*, 633, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Heavy Metals*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
- Mona, S., Kumar, V., Deepak, B., & Kaushik, A. (2020). Cyanobacteria: The Eco-Friendly Tool for the Treatment of Industrial Wastewaters. *Bioremediation of*

Industrial Waste for Environmental Safety, 389–413. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3426-9_16

- Mondal, M., Halder, G., Oinam, G., Indrama, T., & Tiwari, O. N. (2019). Bioremediation of organic and inorganic pollutants using microalgae. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbial Secondary Metabolites Biochemistry and Applications*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63504-4.00017-7>
- NaziaTahir, Ullah, A., Tahir, A., Rashid, H. U., Rehman, T. ur, Danish, S., Hussain, B., & Akca, H. (2021). Strategies for reducing Cd concentration in paddy soil for rice safety. *Journal of Cleaner Production*, 316(May), 128116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128116>
- Page 33 - Draft Statistik Data Lahan Pertanian Tahun 2018. (n.d.). Retrieved April 6, 2021, from [http://epublikasi.pertanian.go.id/epublikasi/statistik-data-lahan/Draft Statistik Data Lahan Pertanian Tahun 2018/files/assets/basic-html/page33.html](http://epublikasi.pertanian.go.id/epublikasi/statistik-data-lahan/Draft-Statistik-Data-Lahan-Pertanian-Tahun-2018/files/assets/basic-html/page33.html)
- Parameswari, E., Lakshmanan, A., & Thilagavathi, T. (2010). Phycoremediation of heavy metals in polluted water bodies. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(4), 808–814.
- Pokrovsky, O. S., Martinez, R. E., Kompantseva, E. I., & Shirokova, L. S. (2013). Interaction of metals and protons with anoxygenic phototrophic bacteria *Rhodobacter blasticus*. *Chemical Geology*, 335, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.10.052>
- Priyanka, Kumar, C., Chatterjee, A., Wenjing, W., Yadav, D., & Singh, P. K. (2019). Cyanobacteria: Potential and role for environmental remediation. In *Abatement of Environmental Pollutants: Trends and Strategies*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00010-2>
- Rajasekaran, A., & Raja, U. (2021). Diversity of Non-heterocystous Cyanobacteria in Paddy Field Soil. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika, Of*, 10–13. <https://doi.org/10.18805/bkap338>
- Ramadoss, R., & Subramaniam, D. (2019). Removal of divalent nickel from aqueous solution using blue-green marine algae: adsorption modeling and

applicability of various isotherm models. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 54(6), 943–961. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1526194>

- Rangsayatorn, N., Upatham, E. S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Lanza, G. R. (2002). Phytoremediation potential of *Spirulina (Arthrospira) platensis*: Biosorption and toxicity studies of cadmium. *Environmental Pollution*, 119(1), 45–53. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00324-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00324-4)
- Sabarinathan, K. G., Gomathy, M., Kumar, D. A., Kannan, R., & Aiyathan, K. E. A. (2021). *Cyanobacteria-Mediated Bioremediation of Problem Soils*. 141–152. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7447-4_5
- Sakarika, M., Koutra, E., Tsafrakidou, P., Terpou, A., & Kornaros, M. (2019). Microalgae-based remediation of wastewaters. In *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00020-5>
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Rehim, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
- Shaw, J. L. A., Ernakovich, J. G., Judy, J. D., Farrell, M., Whatmuff, M., & Kirby, J. (2020). Long-term effects of copper exposure to agricultural soil function and microbial community structure at a controlled and experimental field site. *Environmental Pollution*, 263, 114411. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114411>
- Singh, A., Mehta, S. K., & Gaur, J. P. (2007). Removal of heavy metals from aqueous solution by common freshwater filamentous algae. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(8), 1115–1120. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9341-z>
- Singh, P. K., Wang, W., & Shrivastava, A. K. (2018). Cadmium-mediated

- morphological, biochemical and physiological tuning in three different *Anabaena* species. *Aquatic Toxicology*, 202, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.06.011>
- Singh, P., Singh, V. K., Singh, R., Borthakur, A., Madhav, S., Ahamad, A., Kumar, A., Pal, D. B., Tiwary, D., & Mishra, P. K. (2019). Bioremediation: A sustainable approach for management of environmental contaminants. In *Abatement of Environmental Pollutants: Trends and Strategies*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00001-1>
- SNI. (1998). *SNI-19-0428-1998-Petunjuk-pengambilan-contoh-padatan.pdf* (pp. 1–12).
- Sonawdekar, S., & Gupte, A. (2020). Biosorption of copper(II) and cadmium(II) by *Bacillus cereus* sys1 isolated from oil-contaminated site. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3062-z>
- Soule, T., & Garcia-Pichel, F. (2019). Cyanobacteria. *Encyclopedia of Microbiology*, March, 799–817. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20886-8>
- Thilak, T. S., Madhusoodanan, P. V., Pradeep, N. S., & Prakashkumar, R. (2020). Isolation and taxonomy of the blue-green algae (Cyanobacteria), *Nostoc* and *Anabaena* in Kerala State, India. *Acta Botanica Hungarica Acta Botanica Hungarica*, 62(1–2), 163–174. <https://doi.org/10.1556/034.62.2020.1-2.10>
- Tiwari, S., Parihar, P., Patel, A., Singh, R., & Prasad, S. M. (2018). Metals in Cyanobacteria: Physiological and Molecular Regulation. In *Cyanobacteria: From Basic Science to Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00013-1>
- Vachard, D. (2019). Cyanobacteria. *Microbiology Today*, 37(2), 86–91. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11843-3>
- Verma, S., & Kuila, A. (2019). Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100369>
- Vlcek, V., & Pohanka, M. (2018). Adsorption of copper in soil and its dependence

on physical and chemical properties. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1), 219–224. <https://doi.org/10.1118/actaun201866010219>

WANG, X., LIU, W., LI, Z., TENG, Y., CHRISTIE, P., & LUO, Y. (2020). Effects of long-term fertilizer applications on peanut yield and quality and plant and soil heavy metal accumulation. *Pedosphere*, 30(4), 555–562. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60457-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60457-0)

Waterbury, J. B. (2006). The Cyanobacteria—Isolation, Purification and Identification. *The Prokaryotes*, 1053–1073. https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3_38

Zahra, Z., Choo, D. H., Lee, H., & Parveen, A. (2020). Cyanobacteria: Review of current potentials and applications. *Environments - MDPI*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/environments7020013>

Zhang, X., Yan, L., Liu, J., Zhang, Z., & Tan, C. (2019). Removal of different kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infiltration facility. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(20). <https://doi.org/10.3390/app9204213>



LAMPIRAN

 Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA		BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI LABORATORIUM PENGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA) Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0615) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642 E-mail: brs_bna@yahoo.com Website: http://baristandaceh.kemperin.go.id		 KAN Laboratorium Penguji LP-800-ICH		
LAPORAN HASIL UJI <i>Report of Analysis</i>						
Halaman : 1 dari 1 Page						
Tanggal Penerbitan : 24 Mei 2021 <i>Date of issue</i>		Nomor Laporan : 1247/LHU/LABBA/Baristand-Aceh/V/2021 <i>Report Number</i>				
Kepada : Aya Khalila UIN Ar Raniry di – Banda Aceh		Nomor Analisis : Kim – 21 223 s/d 21 225 <i>Analysis Number</i>				
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa : <i>The undersigned certifies that examination</i>						
Dari Contoh : Tanah <i>Of the Sample (s)</i>		Nomor BAPC : 105/Insd/kim/4/2021 <i>BAPC Number</i>				
Keterangan contoh : Diantar <i>Identity</i>		Untuk Analisis : Sesuai Parameter Uji <i>For Analysis</i>				
Kode Contoh : " Tol Indrapuri, Krueng Mak, Lheu blang "		Diambil dari : - <i>Taken from</i>				
Tanggal Sampling : - <i>Date Of Sampling</i>		Tanggal Penerimaan : 06 April 2021 <i>Received On</i>				
Tanggal Analisis : 06 April 2021 <i>Date of Analysis</i>		Hasil : <i>Results</i>				
No.	Parameter Uji	Satuan	Metode Uji	Hasil Uji		
				Tol Indrapuri	Krueng Mak	Lheu Blang
1	Air Raksa (Hg)	mg/kg	AAS	0,5033	0,4158	0,4428
2	Tembaga (Cu)	mg/kg	AAS	51,47	3901,94	12,19
3	Besi (Fe)	mg/kg	AAS	5105,44	4492,99	461,77
4	Timbal (Pb)	mg/kg	AAS	< 0,0002 [#]	< 0,0002 [#]	< 0,0002 [#]
Keterangan : [#] = Bawah Limit Deteksi metode						
				BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH Manajer Teknik II LABBA  Nurlaila ST, MT NIP. 19621108 198303 2 002		
F.5.10.01.02				Terbit/Revisi : 3/1		

- * Data Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
 * Dilarang menggandakan tanpa izin tertulis dari Baristand Industri Banda Aceh

Laporan Hasil Uji Laboratorium Baristand Banda Aceh

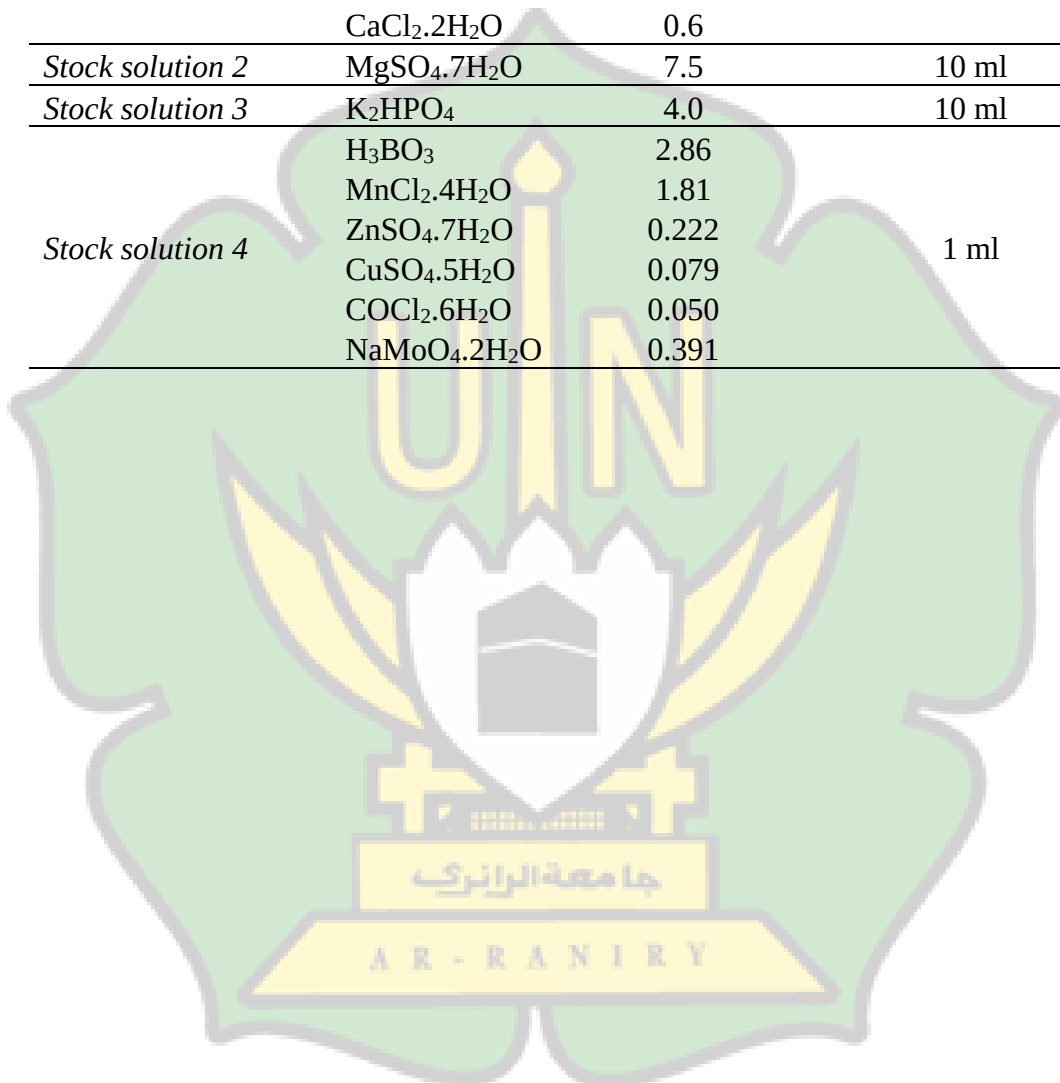
I. Bahan Isolasi dan Nutrien Cyanobacteria

Tabel 1. Daftar Bahan Isolasi dan Nutrien Cyanobacteria dan Besaran Jumlahnya

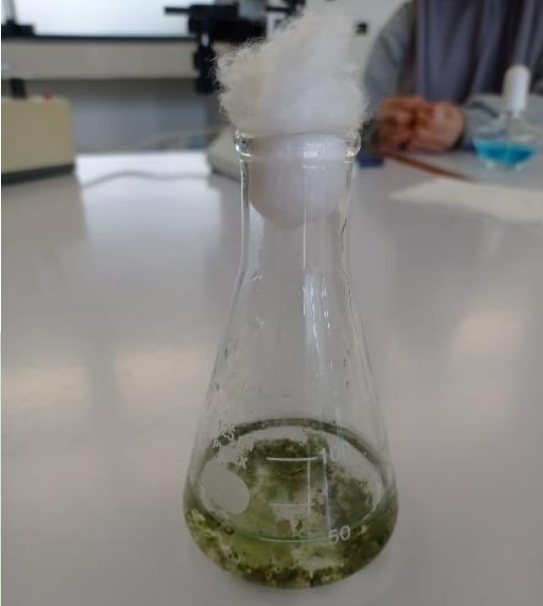
No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	CaCl ₂ . 2H ₂ O	PUDAK	36	mg
2	MgSO ₄ .7H ₂ O	-	0,075	gr
3	K ₂ HPO ₄	-	30	mg
4	Na ₂ CO ₃	-	0,02	g
5	Na ₂ EDTA.2H ₂ O	-	1	mg
6	Ferric ammonium citrate	Himedia	6	mg
7	Citric acid	-	6	mg
8	H ₃ BO ₃	-	2,86	g
9	MnCl ₂ .4H ₂ O	-	1,81	g
10	ZnSO ₄ .7H ₂ O	-	0,22	g
11	NaMoO ₄ .2H ₂ O	-	0,39	g
12	CuSO ₄ .5H ₂ O	-	0,079	g
13	COCl ₂ .6H ₂ O	-	0,5	g
14	CuCl ₂ . 2H ₂ O	Merck	1,81	g
15	Air suling	-	5	L
16	Tanah sawah	-	1	kg

II. Pembuatan media BG-11₀ (*Blue Green 11₀*)

Nutrien	Reagen	Konsentrasi (g/l)	Jumlah ditambahkan pada reaktor per l
<i>Stock solution 1</i>	Na ₂ Mg EDTA	0.1	10 ml
	FAC	0.6	
	C ₆ H ₈ O ₇ ·1H ₂ O	0.6	
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.6	
<i>Stock solution 2</i>	MgSO ₄ ·7H ₂ O	7.5	10 ml
<i>Stock solution 3</i>	K ₂ HPO ₄	4.0	10 ml
<i>Stock solution 4</i>	H ₃ BO ₃	2.86	1 ml
	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81	
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.222	
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.079	
	COCl ₂ ·6H ₂ O	0.050	
	NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.391	



III. Lampiran Foto Kegiatan

No.	Gambar	Keterangan
1		Kultur <i>Anabaena</i> yang siap dilakukan pengujian resisten logam berat tembaga (Cu)
2		Perbedaan warna kultur <i>Anabaena</i> ketika diinjeksi larutan tembaga pada 24 jam pertama
3		Perbedaan warna kultur <i>Anabaena</i> ketika diinjeksi larutan tembaga pada 72 jam

4



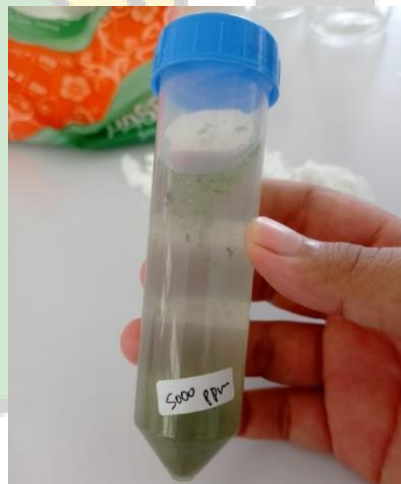
Proses pengambilan supernatant setelah waktu kontak yang telah ditentukan pasca sentrifus

5



Hasil sentrifus 2000 ppm

6



Sebelum perlakuan sentrifus pada konsentrasi 5000 ppm. Terlihat warna kultur *Anabaena* keruh.

7



Proses pengambilan contoh
Anabaena untuk dilihat
karakteristik dengan
mikroskop

8



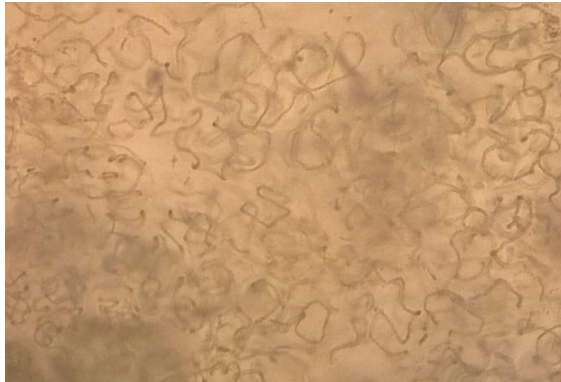
Anabena

9



Perlakuan *rotary shaker*
selama 4 hari dengan
kecepatan 120 rpm suhu
25-30 derajat celcius

10

*Nostoc*

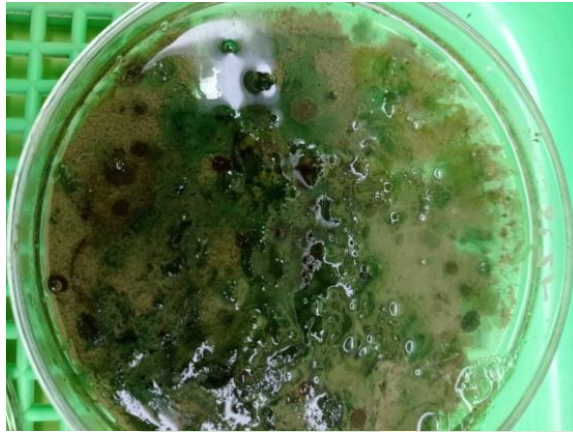
11

BG-11_o

12

Kultur Cyanobacteria
Anabaena 50 ml

13



Kondisi isolasi minggu ke-3

14



Inkubasi dengan periode cahaya 14:10

15



Kondisi isolasi minggu pertama

16



Kondisi isolasi minggu
kedua

17



Kondisi isolasi minggu
ketiga

18



Pengambilan supernatant

19



Pengecekan karakteristik
Cyanobacteria

20



Kondisi incubator dengan
lampu neon 20 watt

21



4 larutan *stock* untuk
pembuatan media selektif
BG-11₀

22



Permbersihan tanah dari
serasah

23



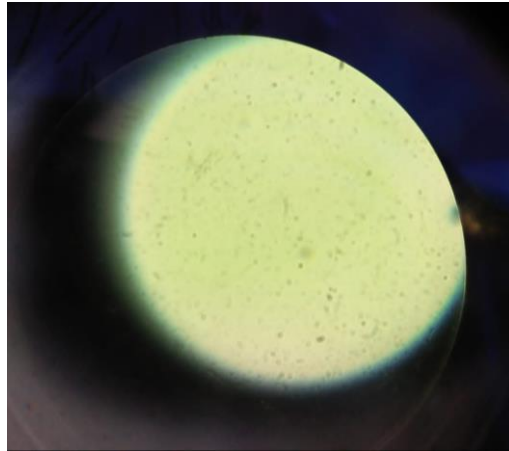
Sampel tanah untuk
dilakukan uji logam
tembaga

24

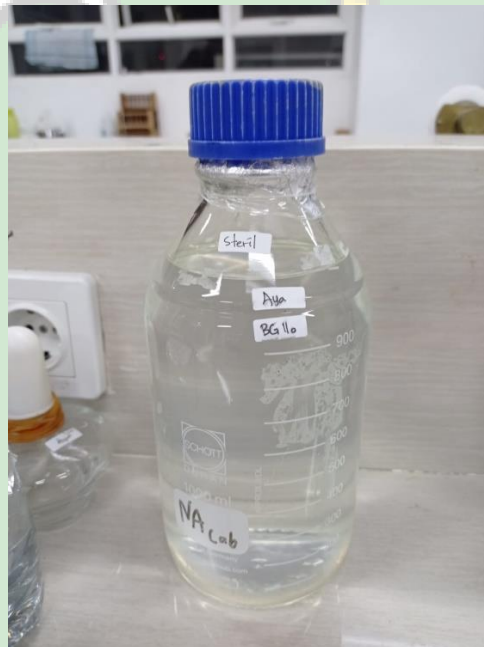


Pengecekan ph tanah
sawah

25

*Anabaena* diperbesar 40×

26

BG-11₀ steril

جامعة الرانري

AR - RANIRY

IV. Lampiran Pembuatan Larutan *Stock* dan Variasi Konsentrasi

Cara membuat larutan *stock* standar 5000 ppm:

$$5000 \text{ ppm} = \frac{5000 \text{ mg}}{1 \text{ L}} = \frac{5 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{0,5 \text{ mg}}{100 \text{ ml}}$$

Untuk membuat larutan standar 5000 ppm diperlukan 0,5 g CuCl₂, dilarutkan dengan aquades sebanyak 100 ml. kemudian larutan tembaga dengan konsentrasi 2000, 3000 dan 4000 ppm sebanyak 100 ml dibuat sesuai dengan menggunakan rumus pengenceran sebagaimana berikut.

a. Konsentrasi 2000 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 5000 \text{ ppm} &= 100 \times 2000 \text{ ppm} \\ V_1 &= 40 \text{ ml} \end{aligned}$$

b. Konsentrasi 3000 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 5000 \text{ ppm} &= 100 \times 3000 \text{ ppm} \\ V_1 &= 60 \text{ ml} \end{aligned}$$

c. Konsentrasi 4000 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 5000 \text{ ppm} &= 100 \times 4000 \text{ ppm} \\ V_1 &= 80 \text{ ml} \end{aligned}$$

V. Lampiran Hasil Uji Logam Akhir



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/Fax. (0651) 7552222
Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpk@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 227/JTK-USK/LTPKL/2022

Nama Pelanggan : Aya Khalila
Alamat Pelanggan : Lambaro-Aceh Besar
Tanggal di Terima : 18 Juni 2022
Jenis Contoh Uji : Limbah Artifisial
Parameter Analisa : Tembaga (Cu)
Tanggal di Analisa : 20 Juni 2022
Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
Baku Mutu : -

No.	Kode Contoh Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	2000 ppm 24 jam	mg/l	-	0,6686	
2.	2000 ppm 48 jam	mg/l	-	0,5851	
3.	2000 ppm 72 jam	mg/l	-	0,5545	
4.	2000 ppm 96 jam	mg/l	-	0,5636	
5.	3000 ppm 24 jam	mg/l	-	0,8129	
6.	3000 ppm 48 jam	mg/l	-	0,6726	
7.	3000 ppm 72 jam	mg/l	-	0,6417	
8.	3000 ppm 96 jam	mg/l	-	0,6499	
9.	4000 ppm 24 jam	mg/l	-	0,4480	
10.	4000 ppm 48 jam	mg/l	-	0,4239	
11.	4000 ppm 72 jam	mg/l	-	0,4589	
12.	4000 ppm 96 jam	mg/l	-	0,5234	
13.	5000 ppm 24 jam	mg/l	-	3,1020	
14.	5000 ppm 48 jam	mg/l	-	2,8743	
15.	5000 ppm 72 jam	mg/l	-	3,3670	
16.	5000 ppm 96 jam	mg/l	-	4,0455	

Darussalam, 20 Juni 2022
Ketua

Dr. Ir. Edi Manawar, S.T., M.Eng.
NIP. 19691210 199802 1001

VI. Lampiran Perhitungan

a. Perhitungan penurunan logam tembaga

- 2000 ppm, 24 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 2000 - 0,6686 \\ &= 1999,33 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (1999,33/2000) \times 100\% \\ &= \mathbf{99,97\%} \end{aligned}$$

- 2000 ppm, 48 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 2000 - 0,5851 \\ &= 1999,41 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (1999,41/2000) \times 100\% \\ &= \mathbf{99,97\%} \end{aligned}$$

- 2000 ppm, 72 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 2000 - 0,5545 \\ &= 1999,45 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (1999,45/2000) \times 100\% \\ &= \mathbf{99,97\%} \end{aligned}$$

- 2000 ppm, 96 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 2000 - 0,5536 \\ &= 1999,44 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (1999,44/2000) \times 100\% \\ &= \mathbf{99,97\%} \end{aligned}$$

- 3000 ppm, 24 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 2000 - 0,8129 \\
 &= 2999,19 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (2999,19/3000) \times 100\% \\
 &= 99,97\%
 \end{aligned}$$

- 3000 ppm, 48 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 3000 - 0,6726 \\
 &= 2999,33 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (2999,33/3000) \times 100\% \\
 &= 99,98\%
 \end{aligned}$$

- 3000 ppm, 72 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 3000 - 0,6417 \\
 &= 2999,36 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (2999,36/3000) \times 100\% \\
 &= 99,98\%
 \end{aligned}$$

- 3000 ppm, 96 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 3000 - 0,6499 \\
 &= 2999,35 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (2999,35/3000) \times 100\% \\
 &= 99,98\%
 \end{aligned}$$

- 4000 ppm, 24 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 4000 - 0,4480 \\
 &= 3999,55 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (3999,55/4000) \times 100\% \\
 &= 99,99\%
 \end{aligned}$$

- 4000 ppm, 48 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 4000 - 0,4239 \\
 &= 3999,58 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (3999,58/4000) \times 100\% \\
 &= 99,99\%
 \end{aligned}$$

- 4000 ppm, 72 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 4000 - 0,4589 \\
 &= 3999,54 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (3999,54/4000) \times 100\% \\
 &= 99,99\%
 \end{aligned}$$

- 4000 ppm, 96 jam

$$\begin{aligned}
 R &= K_O - K_S \\
 &= 4000 - 0,5234 \\
 &= 3999,48 \\
 E &= (R/K_O) \times 100\% \\
 &= (3999,48/4000) \times 100\% \\
 &= 99,99\%
 \end{aligned}$$

- 5000 ppm, 24 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 5000 - 3,1020 \\ &= 4996,9 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (4996,9/2000) \times 100\% \\ &= 99,94\% \end{aligned}$$

- 5000 ppm, 48 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 5000 - 2,8743 \\ &= 4997,13 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (4997,13/5000) \times 100\% \\ &= 99,94\% \end{aligned}$$

- 5000 ppm, 72 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 5000 - 3,3670 \\ &= 4996,63 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (1999,45/2000) \times 100\% \\ &= 99,93\% \end{aligned}$$

- 5000 ppm, 96 jam

$$\begin{aligned} R &= K_O - K_S \\ &= 5000 - 4,0455 \\ &= 4995,95 \\ E &= (R/K_O) \times 100\% \\ &= (4995,95/5000) \times 100\% \\ &= 99,92\% \end{aligned}$$