

Penurunan Kadar Tembaga (Cu) dengan Biostimulasi Glukosa pada Bakteri Indigenous dari Sungai Bedera Kecamatan Medan Marelan, Kota Medan, Sumatera Utara

Reducing Copper (Cu) Levels by Glucose Biostimulation in Indigenous Bacteria from the Bedera River, Medan Marelan District, Medan City, North Sumatra

Resti Ayunda Lubis^{1*}, Rizki Amelia Nasution¹, Leni Widiarti²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains & Teknologi, UIN Sumatera Utara, Medan 20353, Indonesia

²Laboratorium Mikrobiologi, UIN Sumatera Utara, Medan 20241, Indonesia

*corresponding author, Email: restiayundalubis@gmail.com.

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 17/10/2025
Disetujui : 23/12/2025

Abstract

The Bedera River is classified as a river contaminated with heavy metals due to the disposal of domestic and industrial waste, with a high copper (Cu) concentration of 0.6518 mg/L. An approach used to reduce copper (Cu) levels is by utilizing indigenous bacteria. This study aimed to identify indigenous bacteria from the Bedera River and evaluate their ability to reduce Cu concentrations. The indigenous bacteria were treated with an additional nutrient, namely glucose as a biostimulant. The methods employed included the isolation of indigenous bacteria, bacterial resistance testing by measuring Optical Density (OD) using a UV-Vis spectrophotometer, and the reduction of copper (Cu) concentration using the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) method. The results of the One Way ANOVA test showed a significant difference among treatments (Sig. < 0.05). Four genera of indigenous bacteria were successfully identified and demonstrated the ability to reduce copper (Cu) concentrations, namely *Enterococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, and *Staphylococcus*. The percentage reduction of Cu without glucose biostimulant supplementation by *Enterococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, and *Staphylococcus* was 51.49%, 40.65%, 29.39%, and 20.70%, respectively. Meanwhile, with the addition of glucose biostimulant, the percentage reduction achieved by *Bacillus*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*, and *Corynebacterium* was 77.60%, 72.28%, 66.66%, and 60.63%, respectively. The indigenous bacterium with the highest Cu reduction in the presence of glucose biostimulant was *Bacillus*, with a reduction percentage of 77.60%, while the bacterium with the lowest Cu reduction without glucose biostimulant was *Staphylococcus*, with a reduction percentage of 20.70%.

Key Words : Indigenous Bacteria, Biostimulant, Heavy Metal Copper (Cu), and Bedera River.

Abstrak

Sungai Bedera adalah sungai yang tergolong tercemar logam berat akibat pembuangan limbah rumah tangga dan industri yang memiliki kadar logam berat tembaga (Cu) yang tinggi yaitu 0,6518 mg/L. Cara yang dilakukan untuk menurunkan kadar logam berat tembaga (Cu) adalah dengan memanfaatkan bakteri Indigenous. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bakteri indigenous dari Sungai Bedera dan menguji kemampuannya dalam menurunkan kadar Cu. Bakteri Indigenous diberi perlakuan dengan nutrisi tambahan yaitu biostimulan glukosa. Metode yang dilakukan yaitu isolasi bakteri indigenous, uji resistensi bakteri dengan menghitung nilai Optical Density (OD) menggunakan spektrofotometer Uv-Vis dan proses penurunan kadar logam berat (Cu) dilakukan dengan metode SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Hasil uji menggunakan One Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan (Sig. < 0,05). Empat genus bakteri indigenous yang berhasil diidentifikasi memiliki kemampuan menurunkan kadar logam berat tembaga (Cu) yaitu *Enterococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, dan *Staphylococcus*. Persentase penurunan Cu tanpa biostimulan glukosa pada masing-masing bakteri *Enterococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium* dan *Staphylococcus* adalah 51,49%, 40,65%, 29,39%, dan 20,70%. Persentase penurunan Cu dengan penambahan biostimulan glukosa pada masing-masing bakteri *Bacillus*, *Enterococcus*, *Staphylococcus* dan *Corynebacterium* adalah (77,60%), (72,28%), (66,66%), dan (60,63%). Bakteri indigenous yang paling tinggi dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) dengan penambahan biostimulan glukosa adalah *Bacillus* dengan persentase penurunan 77,60% dan bakteri indigenous yang paling rendah dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) tanpa penambahan biostimulan glukosa adalah *Staphylococcus* dengan persentase penurunan 20,70%.

Kata kunci : Bakteri Indigenous, Biostimulan, Logam Berat Tembaga (Cu), dan Sungai Bedera.

PENDAHULUAN

Sungai Bedera di Medan Marelan saat ini berada dalam kondisi tercemar berat akibat pembuangan limbah rumah tangga dan industri yang mengandung logam berat secara langsung ke aliran sungai. Berdasarkan pemeriksaan, kadar logam berat tembaga (Cu) dari Sungai Bedera yaitu 0,6518574 mg/L yang tergolong tinggi. Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001, menyatakan bahwa baku mutu tembaga (Cu) untuk air sungai kelas 3 adalah 0,02 mg/l. Kadar logam berat yang tinggi yang melampaui baku mutu perairan akan menimbulkan dampak buruk seperti kematian pada makhluk hidup yang ada di sungai dan penyakit bagi warga sekitar yang menggunakan air sungai untuk dikonsumsi. (Paundanan dkk., 2023)

Pencemaran yang berlangsung lama memungkinkan bakteri beradaptasi dan berkembang dalam air tercemar tembaga. Bakteri yang bertahan hidup pada perairan tercemar dapat digunakan untuk proses penurunan kadar polutan. Selama proses penurunan kadar logam berat, mikroorganisme menghasilkan enzim-enzim yang mengubah struktur polutan beracun menjadi lebih sederhana, sehingga menghasilkan metabolit yang aman dan tidak berbahaya. Bakteri indigenous memiliki kemampuan dalam mendegradasi polutan di air sehingga tingkat pencemaran air akan menurun. Bakteri memiliki kemampuan untuk mereduksi ion tembaga (Cu^{2+}) menjadi bentuk yang kurang toksik, seperti tembaga dalam keadaan oksidasi yang lebih rendah (Cu^+ atau Cu^0) (Irawati dkk., 2022).

Bakteri resisten tembaga dapat diisolasi dari lokasi tercemar tembaga. Kemampuan bakteri untuk bertahan hidup di lingkungan yang tercemar ditentukan oleh sifat intrinsik dan ekstrinsik yang meliputi sifat biokimia, fisiologis, struktural, dan genetik yang diamati dari perubahan morfologi sel dan modifikasi spesiasi logam berat. Dalam upaya meningkatkan aktivitasnya melalui proses biostimulasi, bakteri tersebut memerlukan nutrisi tambahan, salah satunya berupa glukosa sebagai sumber karbon organik. Glukosa kemudian dimetabolisme melalui jalur glikolisis untuk menghasilkan energi dalam bentuk 2 molekul ATP yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan bakteri dalam kondisi tercemar tembaga. Semakin banyak bakteri yang tumbuh, semakin besar kemampuan bakteri dalam mengikat dan menurunkan tingkat toksitas tembaga, sehingga proses pengendalian pencemaran berlangsung lebih efektif (Hidayati dkk., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana isolat bakteri yang ditemukan dari air Sungai Bedera, untuk mengetahui kemampuan resistensi bakteri indigenous dalam menurunkan kadar tembaga, dan untuk mengetahui kemampuan bakteri indigenous dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) tanpa penambahan biostimulan

glukosa dan dengan penambahan biostimulan glukosa.

MATERI DAN METODE

Jenis Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah deskriptif eksperimental. Metode ini digunakan karena pengujinya berbasis eksperimental di laboratorium. Eksperimen ini dilakukan untuk melihat bakteri yang dapat menjadi agen bioremediasi tembaga pada air Sungai Bedera.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Sumatera Medan dan Laboratorium Politeknik Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan Jalan Medan Tenggara No. VII, Medan, Sumatera Utara. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Juli 2025.

Alat dan Bahan

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah *laminar air flow*, autoklaf, lemari pendingin, neraca digital, botol jar, beaker glass, gelas ukur, labu Erlenmeyer, labu ukur, cawan petri, tabung reaksi, inkubator, pipet ukur, spatula, jarum ose, alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), spektrofotometer Uv-Vis, hotplate, vortex, inkubator shaker, mikroskop, kaca preparat, pH meter, bunsen dan kit microbat. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai yang diambil dari Sungai Bedera, sarung tangan, masker, alumunium foil, plastik wrap, alkohol 70%, aquadest, reagen kovac, lugol, safranin, larutan standard tembaga ($CuSO_4$), media : NA, NB, PCA, glukosa, sukrosa, NaCl, glukosa.

Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini, Pengambilan sampel air lumpur dilakukan di kawasan Sungai Bedera tepatnya di bagian sungai yang berdekatan langsung dengan kawasan perumahan. Titik pengambilan sampel yaitu pada pinggir sungai dan juga pada area tengah sungai.

2. Sterilisasi Alat

Semua alat dan bahan yang akan digunakan disiapkan, kemudian dicuci hingga bersih lalu di keringkan. Setelah itu ke tahap sterilisasi basah yaitu dengan cara menggunakan uap air jenuh bertekanan (autoklaf) dan oven. Untuk autoklaf, masing-masing alat dibungkus dengan kertas dan ditempatkan dalam plastik tahan panas, dengan tekanan 1.5 atm dengan suhu 121°C selama 15-20 menit. Untuk alat-alat logam yang seperti jarum, pinset, pisau dapat disterilkan dengan membakarnya hingga membara. Kemudian wadah yang sudah di sterilkan oleh autoklaf yang akan digunakan dipanaskan kembali dengan api bunsen untuk beberapa saat.

3. Persiapan Larutan Induk Logam Tembaga (CuSO₄)

Pembuatan larutan induk CuSO₄ 100 ppm dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 0,2512 g kristal CuSO₄, kemudian memasukkannya ke dalam labu ukur yang berisi 1 L aquades dan dihomogenkan (Rahadi dkk., 2023).

4. Pembuatan Media

Media NA dibuat dengan cara menimbang NA sebanyak 9,2 gr kemudian dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer. Dituang Aquadest sebanyak 400 ml ke dalam labu Erlenmeyer berisi media NA. kemudian ditambahkan 40 ml larutan CuSO₄. Media dihomogenkan dengan stirrer sekaligus dipanaskan di atas hotplate, kemudian di sterilkan dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C selama 15 menit, sehingga di dapatkan media NA yang steril, lalu di tuangkan kedalam cawan petri tunggu sampai media memadat (Kosasi dkk., 2019).

Media NB dibuat dengan cara menimbang sebanyak 8 gr untuk masing-masing konsentrasi dan dilarutkan dengan 1 liter aquadest dan dipanaskan dengan menggunakan hotplate, kemudian media dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer lalu di tutup dengan menggunakan aluminium foil dan di rekatkan dengan plastik wrap lalu di autoklaf dengan suhu 121° C dengan waktu 15 menit. Untuk Uji Biokimia menggunakan 5 media padat yaitu media Simmon's Sitrat, Media SIM, Media TSIA, dan Media Indole.

5. Isolasi Bakteri

Proses isolasi bakteri diawali dengan mengambil 1 ml sampel air sungai dan dimasukkan ke dalam 9 ml aquades lalu dihomogenkan sehingga didapatkan pengenceran 10⁻¹. Kultur diencerkan dengan pengenceran bertingkat sampai 10⁻⁶ dengan cara 1 ml dari pengenceran 10⁻¹ ditambahkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades sehingga didapat pengenceran 10⁻². Selanjutnya diambil 1 ml dari pengenceran 10⁻² ditambahkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades sehingga didapatkan pengenceran 10⁻³ dan seterusnya hingga didapatkan pengenceran 10⁻⁶. Setelah itu dilakukan proses *plating*, kultur dari pengenceran 10⁻¹ sampai 10⁻⁶ diinokulasikan pada media NA dengan metode *spread plate*, kemudian diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama ±24 jam hingga terjadi pertumbuhan koloni dan diamati koloni yang tumbuh. Koloni tunggal yang tumbuh dimurnikan kembali dengan metode streak plate. Satu koloni isolat bakteri diambil secara aseptis menggunakan jarum ose dan diinokulasikan ke permukaan media NA, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam. Satu koloni dipindahkan ke media NA baru berulang-ulang sampai didapatkan zkultur murni.

6. Pemurnian Isolat

Bakteri Setelah diinkubasi, bakteri yang tumbuh pada cawan petri kemudian dilakukan isolasi kembali untuk dimurnikan. Sebanyak satu ose isolate

bakteri masing-masing berumur 24 jam di pindahkan ke dalam media yang sudah ditambahkan CuSO₄ dengan metode streak plate hingga benar-benar murni kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam (Prihanto dkk., 2018).

7. Inokulum Bakteri

Setelah menjadi kultur murni, bakteri diinokulasikan ke media NB. Inokulasi dilakukan dengan cara menambahkan 1 isolat bakteri ke dalam 50 ml NB. Media yang telah berisi bakteri diinkubasi selama 24 jam. (Rahadi dkk., 2019)

8. Identifikasi Bakteri

Setelah dilakukan isolasi bakteri, kemudian melakukan identifikasi bakteri berupa bentuk, permukaan, tepi, warna serta struktur sel. Teknik tradisional dengan menggunakan pewarnaan Gram. Identifikasi bakteri diawali dengan pengujian morfologi melalui pewarnaan Gram untuk mengamati karakteristik sel bakteri, termasuk jenis Gram-nya. Setelah dilakukan pewarnaan gram dan uji biokimia, selanjutnya dilakukan identifikasi menggunakan Buku Bergeys Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, edisi ke-9 sampai ke tahap genus.

9. Uji Resistensi Kadar Cu oleh Bakteri

Proses ini dimulai dengan membuat bioreaktor yang berisikan dengan media NB sebanyak 200 ml di dalam erlenmeyer 250 ml yang kemudian ditambahkan dengan larutan uji tembaga (CuSO₄) dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 20 ml. Setelah itu dimasukkan kultur bakteri masing-masing (Isolat A1, A2, A3, A4) sebanyak 20 ml ke dalam bioreaktor tersebut. Untuk perlakuan penambahan biostimulan, yaitu dengan memasukkan bahan tambahan yaitu glukosa sebanyak 0,6 gr dalam satu bioreaktor. Pertumbuhan koloni yang paling optimal diperoleh pada perlakuan penambahan glukosa 3 gram untuk 1 liter media NB. Setiap hari dihitung nilai *Optical Density* (OD) dari masing-masing bakteri pada setiap perlakuan diukur dengan panjang gelombang 600 nm menggunakan spektrofotometer. Nilai OD yang lebih tinggi menunjukkan kepadatan bakteri yang lebih tinggi, menandakan ketahanan bakteri terhadap konsentrasi tembaga yang lebih tinggi.

10. Uji Penurunan Kadar Tembaga (Cu)

Setelah diuji ketahanan bakteri terhadap Cu, maka dilanjutkan uji bioremediasi logam CuSO₄ yang telah dimasukkan dengan biostimulan dan bakteri di erlenmeyer 250 ml selama 2 minggu. Setelah itu dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 7.000 rpm selama 20 menit untuk memperoleh cairan supernatant kemudian diukur dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) (Hindersah & Kamaluddin, 2014). Pengukuran kadar Cu dilakukan pada saat sebelum dan sesudah pemberian isolat bakteri (Amalia dkk., 2024).

11. Pengukuran Efisiensi

Penurunan Kadar Cu Menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Tingkat efisiensi penurunan kadar tembaga dalam proses perlakuan dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses bioremediasi selama 2 minggu. Setelah itu dihitung penurunannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Penurunan (\%)} = \frac{\text{So}-\text{Si}}{\text{So}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

So: Kadar awal logam tembaga sebelum perlakuan, biasanya diukur dalam satuan ppm (parts per million) atau mg/L.

Si: Kadar akhir logam tembaga setelah perlakuan, juga diukur dalam satuan ppm atau mg/L

Efisiensi (%): Nilai ini menunjukkan seberapa efektif proses pengolahan dalam mengurangi kadar logam tembaga. Semakin tinggi persentase efisiensi, semakin baik proses pengolahan tersebut dalam menurunkan konsentrasi logam berat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

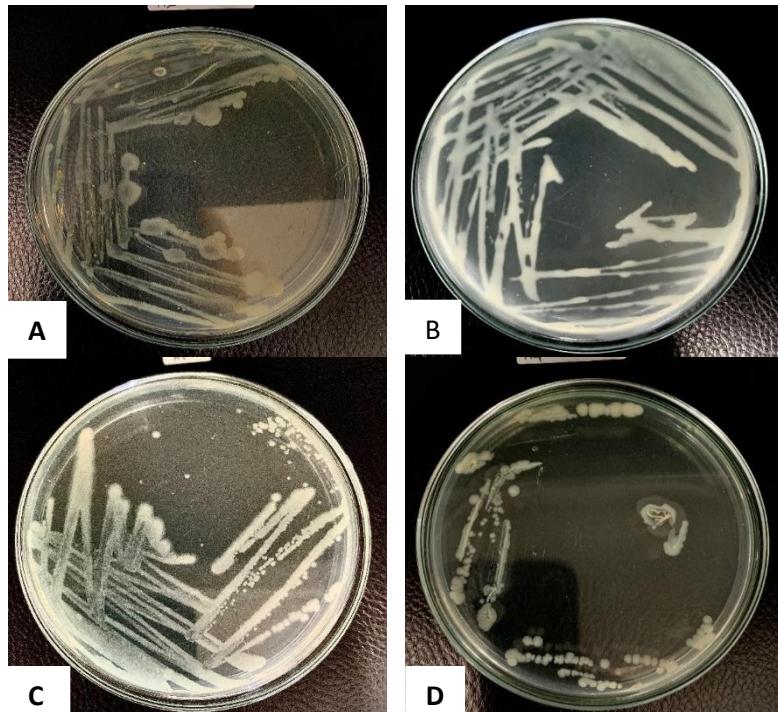
Identifikasi Bakteri Indigenous

Berdasarkan hasil isolasi bakteri indigenous dari Sungai Badera, Kecamatan Medan Marelan, yang memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar logam berat tembaga (Cu), diperoleh empat isolat dengan karakteristik yang berbeda, yaitu isolat A1, isolat A2, isolat A3 dan Isolat A4. Terdapat perbedaan diantara 4 isolat bakteri yaitu, koloni A1 memiliki warna putih kekuningan, bentuk tidak teratur dengan tepi seluruh, permukaan datar, dan

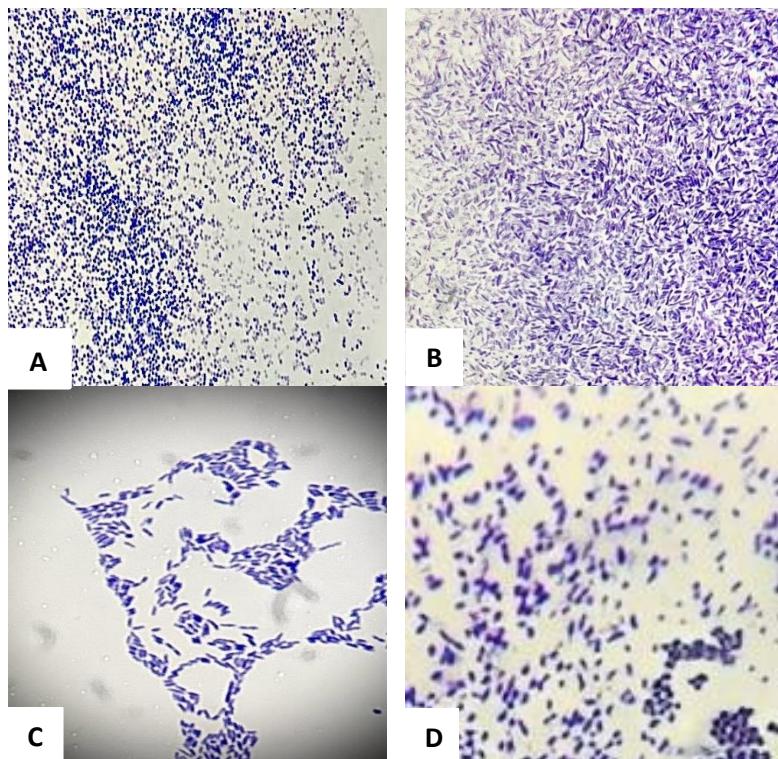
memiliki ukuran sedang. Bentuk tidak teratur menunjukkan pertumbuhan koloni yang asimetris, sedangkan tepi seluruh mengindikasikan batas koloni yang halus tanpa lekukan. Koloni A2 berwarna putih, berbentuk tidak teratur, namun memiliki tepi bergelombang (undulate) yang terlihat seperti ombak kecil di pinggirnya, dengan permukaan datar dan ukuran sedang. Koloni A3 memiliki warna putih susu, berbentuk bundar dengan tepi seluruh, permukaan datar, dan ukuran kecil, yang menunjukkan pertumbuhan lebih lambat atau terbatas. Sementara itu, koloni A4 memiliki warna putih sedikit kuning, bentuknya bundar dengan tepi seluruh, permukaan datar, dan ukuran sedang, menandakan pertumbuhan yang lebih besar dibanding A3 tetapi tetap memiliki bentuk yang simetris dan rapi.

Pewarnaan Gram

Pewarnaan gram dilakukan untuk mengetahui bentuk bakteri apakah bersifat positif atau negatif. Jika bakteri Gram-positif ditandai dengan warna ungu dan bakteri Gram-negatif ditandai dengan warna merah. Isolat A1 termasuk ke dalam bakteri Gram-positif dengan bentuk coccus, isolat A2 termasuk ke dalam bakteri Gram-positif dengan bentuk basil, isolat A3 termasuk ke dalam bakteri Gram-positif dengan bentuk diplobasil, dan isolat A4 termasuk ke dalam bakteri Gram-positif dengan bentuk coccus. Hasil pewarnaan gram dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Foto karakter makromorfologi isolat bakteri pada medium NA (A) Isolat A1. (B) Isolat A2. (C) Isolat A3. (D) Isolat A4.



Gambar 2. Hasil Pewarnaan Gram (A) Isolat A1. (B) Isolat A2. (C) Isolat A3. (D) Isolat A4

Tabel 1. Hasil Uji Biokimia

Kode Isolat	Hasil Pewarnaan Gram	Uji Biokimia						Hasil Identifikasi
		Uji TSIA	Uji Motilitas	Uji Sitrat	Uji Katalase	Uji Indole	Uji Oksidase	
A1	+	A/A	+	+	-	+	-	<i>Enterococcus</i>
A2	+	A/K	+	+	+	-	+	<i>Bacillus</i>
A3	+	K/A	-	+	+	-	+	<i>Corynebacterium</i>
A4	+	A/K	-	+	+	-	+	<i>Staphylococcus</i>

Hasil Uji Biokimia

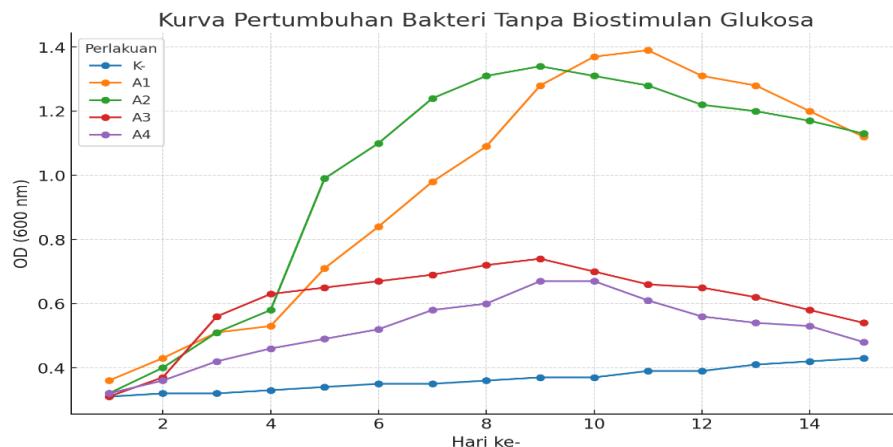
Uji biokimia adalah metode umum untuk mengidentifikasi bakteri dengan mempelajari sifat fisiologis dan proses metabolisme selnya. Uji ini sangat penting karena morfologi bakteri (bentuk seperti basil, kokus, atau spiral) terbatas, sehingga sulit membedakan genus tanpa analisis lebih lanjut. Uji biokimia mengungkap kemampuan bakteri dalam mereaksikan senyawa kimia untuk menghasilkan zat lain, yang kemudian dikaitkan dengan karakteristik spesifik bakteri tersebut. Untuk mendeteksi reaksi ini, seringkali diperlukan indikator atau reagen khusus yang bervariasi tergantung pada senyawa kimia yang diuji. Hasil berupa tabel seperti pada (Tabel 1).

Pengujian ini membantu menentukan genus bakteri yang terisolasi dan membantu membedakan

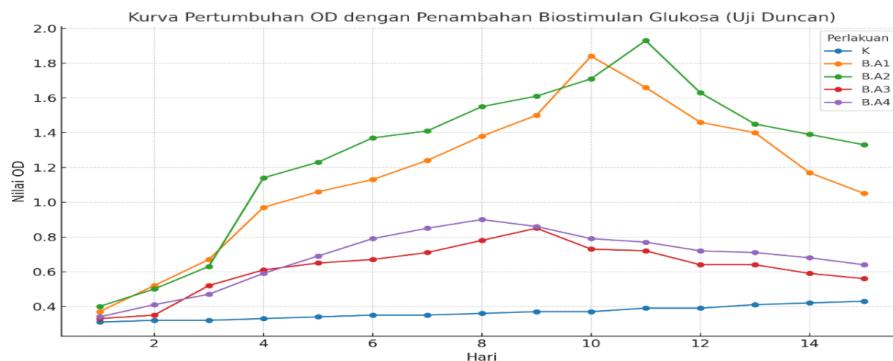
jenis bakteri berdasarkan reaksi biokimia yang spesifik, seperti fermentasi karbohidrat, produksi enzim tertentu, atau kemampuan memanfaatkan substrat tertentu.

Identifikasi Bakteri Indigenous Menggunakan Buku Bergey's

Setelah melakukan uji pewarnaan Gram dan uji biokimia, selanjutnya hasilnya diidentifikasi menggunakan panduan dari Buku *Bergey's Manual of Determination Bacteriology 9th* untuk menentukan genus dari bakteri tersebut. Berdasarkan hasil karakterisasi uji biokimia, dapat teridentifikasi bahwa kode isolat A1 termasuk ke dalam genus *Enterococcus*, kode isolat A2 termasuk ke dalam genus *Bacillus*, kode isolat A3 termasuk ke dalam genus *Corynebacterium*, dan kode isolat A4 termasuk ke dalam genus *Staphylococcus*.



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan Bakteri Berdasarkan Nilai OD tanpa Penambahan Biostimulan



Gambar 3. Kurva Pertumbuhan Bakteri Berdasarkan Nilai OD dengan Penambahan Biostimulan Glukosa

Resistensi Bakteri Indigenous Terhadap Logam Tembaga (Cu)

Nilai OD yang meningkat menunjukkan adanya aktivitas pertumbuhan bakteri meskipun berada pada lingkungan yang mengandung logam berat, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa bakteri tersebut memiliki resistensi dan mampu beradaptasi dengan kondisi stres logam. Nilai OD dapat diperoleh hasil seperti gambar 2.

Berdasarkan hasil pengamatan kurva pertumbuhan bakteri yang ditunjukkan oleh nilai OD (Optical Density) selama 15 hari, terlihat adanya perbedaan pola pertumbuhan antar isolat yang diuji. Kontrol (K) menunjukkan nilai OD yang relatif rendah (0,30–0,45) karena hanya berisi media NB dan larutan CuSO₄ tanpa adanya penambahan bakteri, sehingga tidak terjadi pertumbuhan sel mikroba. Perlakuan A1 dan A2 menunjukkan pertumbuhan paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, di mana A1 mencapai puncak pertumbuhan (fase log) pada hari ke-10 dengan OD 1,39, sedangkan A2 mencapai puncak sedikit lebih awal yaitu pada hari ke-9 dengan OD 1,34. Sementara A3 dan A4 menunjukkan pertumbuhan sedang dengan nilai OD maksimum masing-masing sekitar 0,74 dan 0,67. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan bakteri mengalami empat fase utama, yaitu fase adaptasi pada hari ke-1 hingga ke-2, di mana bakteri

menyesuaikan diri dengan lingkungan; fase logaritmik pada hari ke-3 hingga ke-9 dengan peningkatan OD yang tajam menandakan pertumbuhan aktif; fase stasioner pada hari ke-9 hingga ke-11 ketika laju pertumbuhan mulai menurun akibat keterbatasan nutrisi; serta fase kematian pada hari ke-12 hingga ke-15 yang ditandai dengan penurunan OD akibat berkurangnya jumlah sel hidup.

Uji resistensi bakteri indigenous terhadap logam tembaga (Cu) juga dilakukan dengan penambahan biostimulan glukosa. Penambahan glukosa ini sebagai nutrisi tambahan jika nutrisi dalam media pemupuk itu sendiri telah habis sehingga bakteri terus dapat membelah menghasilkan jumlah bakteri yang lebih banyak. Nilai OD dapat diperoleh hasil seperti gambar 3.

Berdasarkan tabel, Kontrol (K) menunjukkan nilai OD yang relatif rendah (0,30–0,45) karena hanya berisi media NB dan larutan CuSO₄ tanpa adanya penambahan bakteri, sehingga tidak terjadi pertumbuhan sel mikroba. Perlakuan B.A2 menunjukkan pertumbuhan tertinggi pada hari ke-11 dengan nilai OD 1,93, diikuti oleh B.A1 pertumbuhan tertinggi pada hari ke-10 dengan nilai OD 1,84, sedangkan B.A3 dan B.A4 memperlihatkan pertumbuhan sedang dengan OD maksimum 0,85 dan 0,90.

Berdasarkan hasil analisa ANOVA menunjukkan bahwa seluruh perlakuan, baik kontrol (K), isolat tanpa biostimulan (A1, A2, A3, A4), maupun isolat dengan biostimulan glukosa (B.A1, B.A2, B.A3, B.A4), diperoleh nilai signifikan sebesar (Sig.) $< 0,05$. Nilai ini menunjukkan hasil perlakuan berpengaruh nyata terhadap nilai Optical Density (OD).

Penurunan Kadar Tembaga (CuSO₄) Oleh Bakteri

Uji reduksi bertujuan untuk melihat kemampuan bakteri dalam menurunkan logam berat di media tumbuh dari konsentrasi awal 100 ppm. Perhitungan jumlah reduksi bakteri terhadap CuSO₄ dilakukan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Berikut adalah tabel nilai pH dan penurunan kadar CuSO₄ menggunakan metode SSA. Hasil penurunan dapat dilihat pada (Tabel 2).

Setiap bakteri indigenous menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam menurunkan kadar tembaga (CuSO₄). Pada kondisi tanpa penambahan glukosa sebagai biostimulan, *Enterococcus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 48,51 ppm dengan persentase penurunan 51,49%, *Bacillus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 59,63 ppm dengan persentase penurunan 40,65%, *Corynebacterium* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 70,61 ppm dengan persentase penurunan 29,39%, dan *Staphylococcus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 79,29 ppm dengan persentase penurunan 20,70%.

Adanya penambahan biostimulan glukosa sebagai nutrisi tambahan sangat membantu kemampuan bakteri dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) yaitu *Bacillus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 22,40 ppm dengan persentase penurunan 77,60%, *Enterococcus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 27,7200 ppm dengan persentase penurunan 72,28%, *Staphylococcus* mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 33,33 ppm dengan persentase penurunan 66,66%, dan *Corynebacterium*

mampu menurunkan kadar CuSO₄ dari konsentrasi 100 ppm menjadi 39,37 ppm dengan persentase penurunan 60,63%.

Ketersediaan glukosa yang tinggi pada bakteri *Bacillus* dapat merangsang pembentukan senyawa pengikat logam berupa siderophore. Produksi siderophore merupakan respons alami bakteri untuk meningkatkan kelangsungan hidup dan kemampuan adaptasi terhadap stres akibat paparan logam berat. Gugus aktif pada siderophore, seperti -OH, -COOH, dan -NH₂, berperan dalam mengikat ion Cu²⁺ sehingga membentuk kompleks Cu-siderophore yang stabil dan kurang toksik. Setelah ion Cu²⁺ terikat, sejumlah enzim redoks yang dimiliki *Bacillus* dapat mereduksi logam tersebut menjadi bentuk yang lebih tidak beracun, seperti Cu⁺ atau Cu⁰ (Yu dkk., 2017).

Pemberian glukosa dapat menstimulasi bakteri *Enterococcus* untuk meningkatkan aktivitas metabolismik yang berkaitan dengan produksi enzim redoks, seperti reduktase dan oksidoreduktase. Enzim-enzim tersebut berperan penting dalam proses reduksi ion Cu²⁺ menjadi Cu⁺ atau Cu⁰, yang merupakan bentuk logam lebih stabil dan tidak larut dalam air, sehingga menurunkan toksitas logam terhadap sel bakteri. *Enterococcus* diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan fermentasi anaerob dan menghasilkan enzim yang membantu memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Guo dkk., 2020).

Bakteri *Corynebacterium* memiliki sistem transport logam yang berperan dalam homeostasis ion, sehingga memungkinkan bakteri ini tidak hanya mengikat tetapi juga mengatur akumulasi logam di dalam sel. *Staphylococcus* menunjukkan bahwa ketika terpapar stres tembaga (Cu), ia tidak terutama melakukan proses penghilangan tembaga dari lingkungannya, melainkan lebih pada adaptasi fisiologis dengan mengatur kembali sistem enzimatik, meningkatkan produksi protein stres, dan mengaktifkan sistem pompa keluar ion logam tertentu. Dengan cara ini mampu meminimalisir efek toksik Cu pada fungsi sel, meskipun konsentrasi logam di lingkungan tidak berkurang banyak.

Tabel 2. Tabel nilai pH dan juga penurunan kadar logam berat tembaga (CuSO₄) menggunakan Metode SSA.

Genus Bakteri	Kadar CuSO ₄ (ppm)			Persentase Penurunan (%)	
	Awal	Akhir (tanpa biostimulan)	Akhir (pakai biostimulan)	Tanpa Biostimulan	Pakai Biostimulan
Kontrol	100	99,56	99,56	0,432	0,432
<i>Enterococcus</i>	100	48,51	27,72	51,49	72,28
<i>Bacillus</i>	100	59,43	22,40	40,56	77,60
<i>Corynebacterium</i>	100	70,61	39,37	29,39	60,63
<i>Staphylococcus</i>	100	79,29	33,33	20,70	66,66

SIMPULAN

Bakteri indigenous yang ditemukan dari air Sungai Bedera yaitu ada 4 jenis bakteri dengan genus *Enterococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, dan *Staphylococcus*. Bakteri indigenous yang diisolasi dari Sungai Bedera memiliki kemampuan resistensi terhadap logam berat tembaga (Cu), yang ditunjukkan melalui nilai *Optical Density* (OD) pada media yang mengandung Cu. Nilai OD yang relatif stabil hingga meningkat mengindikasikan bahwa bakteri mampu bertahan hidup serta beradaptasi pada kondisi terpapar Cu. Kemampuan resistensi ini berhubungan dengan efektivitas penurunan kadar tembaga (Cu). Urutan kemampuan bakteri indigenous dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) yaitu *Enterococcus* 51,49%, *Bacillus* 40,65%, *Corynebacterium* 29,39%, dan *Staphylococcus* 20,70%. Adanya penambahan biostimulan glukosa sebagai nutrisi tambahan sangat membantu kemampuan bakteri dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) yaitu *Bacillus* 77,60%, *Enterococcus* 72,28%, *Staphylococcus* 66,66%, dan *Corynebacterium* 60,63%

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UIN Sumatera Utara atas dukungan fasilitas laboratorium Mikrobiologi selama penelitian ini. Terima kasih juga kepada para dosen pembimbing dan penguji yang telah membimbing penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Amalia, A., Mayasari, U., & Nasution, R. A. 2024. Bioremediasi Merkuri (Hg) Dengan Pemanfaatan Bakteri Indigenous dari Kawasan Sungai Tercemar Limbah Pertambangan Emas Batangtoru. *Spizaetus: Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 5(1),pp. 110.
- Guo, D.-J., Singh, R. K., & Pratiksha Singh, D.-P. L. 2020. Complete Genome Sequence of *Enterobacter roddenkampii* ED5, a Nitrogen Fixing Plant Growth Promoting Endophytic Bacterium With Biocontrol and Stress Tolerance Properties, Isolated From Sugarcane Root. *Frontiers in Microbiology*,pp. 11.
- Hidayati, N., Sukmana, D. J., Ariami, P., Urip, U., & Fihiruddin, F. 2024. Pengaruh Penambahan Glukosa terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Media Pemupuk Nutrient Broth (NB). *JSN: Jurnal Sains Natural*, 2(2),pp. 48–52.
- Irawati, W., Ambarita, P. P., Sihombing, D. L., Shaday, V. El, Advenita, R., & Marvella, E. B. 2022. Isolation and characterization of indigenous copper resistant bacteria from Yogyakarta tannery factory waste. *Jurnal Biologi Tropis*, 22,pp.795–802.
- Kosasi, C., Lolo, W. A., & Sudewi, S. 2019. Isolasi Dan Uji Aktivitas Antibakteri Dari Bakteri Yang Berasosiasi Dengan Alga *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh Serta Identifikasi Secara Biokimia. *Pharmacon*, 8(2), 351.
- Paundanan, M., Ikbal, Fachruddin, Akmal Khaery. 2023. Studi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Berdasarkan Nilai Ambang Batas (NAB) Di Sungai Motui Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 14(1),pp.1–7.
- Prihanto, A. A., Timur, H. D. L., Jaziri, A. A., Nurdiani, R., & Padarameswari, K. A. 2018. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Endofit Mangrove Sonneratia Alba Penghasil Enzim Gelatinase Dari Pantai Sendang Biru, Malang, Jawa Timur. *Indonesia Journal of Halal*, 1(1),pp.31.
- Rahadi, Bambang, Liliya Dewi Susanawati, R. A. 2019. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri Indigenous Pada Tanah Tercemar Air Lindi (Leachate). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 6(3),pp. 11–18.
- Yu, W., Chen, Z., Ye, H., Liu, P., Li, Z., Wang, Y., & Li, Q. 2017. Effect of glucose on poly- γ -glutamic acid metabolism in *Bacillus licheniformis*. *Microbial Cell Factories*,pp.1–10.