

Identifikasi bakteri di mangrove Desa Sawohan Sidoarjo sebagai agen bioremediasi dari pencemaran logam berat

Identification of bacteria in the mangroves Sawohan Village Sidoarjo as bioremediation agents from heavy metal pollution

SAGO: Gizi dan Kesehatan
2024, Vol. 5(3) 733-745
© The Author(s) 2024



DOI: <http://dx.doi.org/10.30867/gikes.v5i3.1706>
<https://ejournal.poltekkesaceh.ac.id/index.php/gikes>



Poltekkes Kemenkes Aceh

Vella Rohmayani^{1*}, Nurhidayatullah Romadhon², Holly Ichda³, Anindita Riesti Retno Arimurti⁴, Mohammad Taufiq Shidqi⁵, Wiwi Wikanta⁶

Abstract

Background: Remediation of heavy metal pollutants using bacteria is currently being carried out due to high levels of heavy metal pollution (Cu and Hg) in ecosystems, mainly due to industrial growth, encouraging remediation research using bacteria. The toxic effects of heavy metals on living things and the environment need to be addressed.

Objective: This study aims to identify and analyze the potential of indigenous bacteria from mangrove sediments in Sawohan Sidoarjo Village in reducing Cu and Hg heavy metal levels in vitro.

Method: This research is included in explorative descriptive research. This research was conducted at the UMSurabaya microbiology laboratory, in July – November 2023. Isolation is carried out by pour plate method and purified using streak plate method on Nutrient Agar medium. Initial screening of bacteria using Nutrient Agar medium with the addition of Cu and Hg metals as much as 100, 250, 350 and 500 ppm. Measurement of the potential of bacteria in reducing Cu and Hg metal levels was carried out on SSA medium (Salmonella shigela agar) using the Langmuir method. The results of bacterial isolation from mangrove sediments obtained 9 isolates used to test the degradation ability of heavy metals Cu and Hg.

Result: U Heavy metal degradation test showed that the 9 isolates were able to degrade Cu and Hg heavy metals. T1 isolates of *Pseudomonas aeruginosa* species, with Gram negative characteristics, have the highest reduction ability with Cu reduction power of 82% and Hg metal of 72,61%.

Conclusion: H *Pseudomonas aeruginosa* bacteria from mangrove sediments has the ability as a bioremediation agent of heavy metals Cu and Hg from ecosystems.

Keywords

Bacterial Isolation, Indigenous, Metal Degradation, Cu, Hg

Abstrak

Latar Belakang: Remediasi polutan logam berat menggunakan bakteri saat ini terus dilakukan karena tingginya tingkat pencemaran logam berat (Cu dan Hg) dalam ekosistem, terutama akibat pertumbuhan industri, mendorong penelitian remediasi dengan menggunakan bakteri. Efek toksik logam berat bagi makhluk hidup dan lingkungan perlu diatasi.

Tujuan: Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi bakteri indigenous dari sedimen mangrove Desa Sawohan Sidoarjo dalam mengurangi kadar logam berat Cu dan Hg secara in-vitro.

¹ Prodi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surabaya
E-mail: vella_rohmayani@um-surabaya.ac.id

² Prodi Sarjana Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan, Universitas Muhammadiyah Surabaya. E-mail: nurhidayatullah10@gmail.com

³ Prodi PGSD, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Surabaya. E-mail: holyichdawahyuni@um-surabaya.ac.id

⁴ Prodi DIII Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surabaya.
E-mail: aninditariesti@um-surabaya.ac.id

⁵ Prodi Agribisnis Perikanan Fakultas Pertanian Universitas Islam Madura. Email : nurhidayatullah10@gmail.com

⁶ Prodi Sarjana Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Email : wikanta@fkip.um-surabaya.ac.id

Penulis Koresponding:

Vella Rohmayani: Prodi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Jl. Sutorejo No.59, Surabaya. E-mail: vella_rohmayani@um-surabaya.ac.id

Metode: Penelitian ini termasuk dalam penelitian deskriptif eksploratif. Penelitian ini dilakukan di laboratorium mikrobiologi UMSurabaya, pada bulan Juli – November 2023. Isolasi yang dilakukan dengan metode pour plate dan dipurifikasi menggunakan cara streak plate pada medium Nutrient Agar. Skrining awal bakteri menggunakan medium Nutrient Agar dengan penambahan logam Cu dan Hg sebanyak 100, 250, 350 dan 500 ppm. Pengukuran potensi bakteri dalam mengurangi kadar logam Cu dan Hg dilakukan pada medium SSA (*Salmonella shigella* agar) menggunakan metode Langmuir. Hasil isolasi bakteri dari sedimen mangrove diperoleh 9 isolat yang digunakan untuk pengujian kemampuan degradasi logam berat Cu dan Hg.

Hasil: Uji degradasi logam berat menunjukkan bahwa ke-9 isolat mampu mendegradasi logam berat Cu dan Hg, namun isolat isolat dengan kemampuan reduksi tertinggi adalah isolat T1 dengan daya reduksi Cu sebesar 82% dan logam Hg sebesar 72,61%. Berdasarkan *Bergey's*, isolat T1 termasuk spesies *Pseudomonas aeruginosa*, dengan karakteristik Gram negatif, bentuk basil, non-motil, katalase positif, oksidase positif, bersifat motil, manitol positif, Sitrat positif, dan arginin positif.

Kesimpulan: Hal ini mengindikasikan bahwa kelompok bakteri *Pseudomonas aeruginosa* tersebut dapat digunakan secara efisien untuk penghilangan logam berat Cu dan Hg dari ekosistem.

Kata Kunci

Isolasi Bakteri, Indigenous, Degradasi logam, Cu, Hg

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan sumber daya alam yang berlimpah baik dari lingkungan terrestrial hingga maritim. Kekayaan sumber daya alam ini memicu perkembangan berbagai sektor industri yang berusaha mengeksplorasi secara luas serta mengolah bahan-bahan alam tersebut menjadi sebuah produk bernilai tinggi di pasaran lokal maupun global (Herdiansyah, 2018). Pengolahan bahan mentah tersebut juga memicu perkembangan dari sektor teknologi yang mampu mengurangi waktu pengolahan dan meningkatkan kualitas produk akhir (Miharja & Sidharta, 2018). Adanya sinergitas antara perkembangan teknologi dan kemajuan sektor industri ini memang mampu meningkatkan ekonomi nasional, akan tetapi juga berdampak negatif pada kestabilan lingkungan hidup, dimana terjadinya eksploitasi secara luas terhadap sumber daya alam serta menghasilkan berbagai senyawa sampingan dari proses pengolahan yang bersifat toksik terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Senyawa sampingan tersebut berupa limbah yang dihasilkan baik dalam bentuk padat, cair dan gas (Ali et al., 2019). Salah satu limbah toksik adalah logam berat (Ali et al., 2019).

Salah satu yang menyebabkan logam berat menjadi sumber pencemar berbahaya yaitu sifatnya yang tidak dipecah (*non-degradable*) oleh makhluk hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, kemudian logam berat tersebut mengendap di dasar perairan sehingga terbentuknya senyawa kompleks dengan bahan

organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi war (Erlambang et al., 2019).

Hal ini terjadi secara terus menerus dalam waktu yang lama dan akan merusak kestabilan rantai makanan, dimana konsumen puncak yang mengkonsumsi mangsa (produsen atau konsumen tingkat bawah) yang tubuhnya telah terakumulasi senyawa logam berat sebelumnya, akan bersifat destruktif bagi tubuh konsumen akhir (Lestari et al., 2021). Hal ini dikarenakan jumlah logam berat tersebut telah banyak dan mampu merusak berbagai sel vital makhluk hidup melalui aliran darah (Lestari et al., 2021). Salah satu senyawa logam berat yang sangat tinggi yaitu tembaga (Cu) dan air raksa (Hg) (Ishak et al., 2023).

Logam Cu termasuk jenis logam berat yang bersifat esensial bagi makhluk hidup, namun akibat perkembangan industri yang pesat menjadikan logam tersebut berlimpah dan meningkatkan toksisitasnya terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Begitupun dengan logam Hg dan Pb yang termasuk ke dalam golongan logam yang paling berbahaya bagi makhluk hidup karena mudah diserap dan mampu menghambat kinerja enzim serta merusak sel (Suryono et al., 2020). Logam-logam tersebut banyak ditemukan di lingkungan perairan dan lahan basah seperti lahan mangrove (Suryono et al., 2020). Berbagai metode remediasi lahan telah dipergunakan untuk mengurangi kadar logam berat dari lingkungan seperti remediasi fisik (memasukkan cemaran ke dalam wadah tang kemudian diberikan perlakuan), remediasi kimia (dengan melakukan ekstraksi kimia dan solidifikasi) dan remediasi biologi (biofilter, bioventing,

fitoremediasi, bioremediasi). Namun metode yang aman dan efektif dalam proses revitalisasi lahan tercemar adalah dengan menggunakan bakteri indigenous yang mampu mengabsorpsi dan mengurai logam, dan jenis bakteri ini paling berlimpah ditemukan di daerah sedimen mangrove. Sedimen mangrove pada dasarnya terdiri dari partikel halus dengan kandungan organik tinggi dan pH rendah, sehingga membuatnya sangat efektif dalam menyerap logam berat yang berpotensi beracun dengan menguraikan senyawa sulfida dalam sedimen yang biasanya bersifat anaerob (Kartikorini et al., 2021).

Sedimen mangrove bersifat anaerobik; kaya akan sulfida, ion, dan bahan organik; dan bertindak sebagai penyerap logam berat di lingkungan perairan sehingga akan banyak ditemukan logam berat di sekitar perakaran mangrove. Dalam mekanisme penyerapan nutrisi, mangrove berasosiasi dengan berbagai bakteri laut untuk mengurai senyawa kompleks yang akan dipergunakan oleh tanaman. Namun karena akar mangrove bersifat akumulator terhadap logam berat, sehingga bakteri laut mengembangkan mekanisme resistensi untuk beradaptasi dengan lingkungan yang terkontaminasi oleh logam berat beracun. Untuk aktivitas metabolismenya, bakteri juga membutuhkan beberapa logam berat, yang diterima dari lingkungan laut melalui saluran protein pengangkut logam berat yang bersifat spesifik (Suryono et al., 2020). Interaksi mikroba dengan logam berat berperan penting dalam mengurangi toksisitas dan juga membantu biota sekitarnya, terutama tanaman (Erlambang et al., 2019).

Adapun beberapa bakteri yang dapat mengikat dan mereduksi logam berat adalah *Thiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus cereus*, *Oogloea sp.*, *Citrobactersp*, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenyllobacterium*, *Enhydrobacter*, *Flavobacterium*, yang masing-masing mampu mengurangi logam berat Cu, Pb, Cd maupun Hg (Lestari et al., 2021). Oleh karena itu, proses *screening* terhadap bakteri potensial untuk mengurangi cemaran logam berat pada lahan mangrove perlu dieksplorasi lebih jauh untuk memperoleh jenis bakteri yang memiliki potensi maksimal dalam mereduksi kadar logam berat di lingkungan. Salah satu lokasi lahan mangrove yang berpotensi terletak di desa Sawohan Kecamatan Buduran Sidoarjo. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi bakteri indigenous dari sedimen mangrove Desa

Sawohan Sidoarjo dalam mengurangi kadar logam berat Cu dan Hg secara in-vitro.

Metode

Penelitian ini termasuk dalam penelitian deskriptif eksploratif yakni penelitian yang bertujuan menyatukan beragam informasi mengenai status gejala yang ada saat penelitian dilakukan tidak ada (Fauziah et al., 2022). Penelitian di harapkan mampu membentuk gambaran fenomena secara sistematis, akurat dan faktual terhadap sifat – sifat ,ifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diteliti berupa adanya bakteri indigenous yang resisten terhadap logam berat di perairan mangrove sebenarnya sudah dicemari oleh logam berat yang berasal dari limbah domestik. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, dan pengambilan sampel sedimen serta air pada zona sekitar akar mangrove. Selain itu, penelitian ini juga termasuk penelitian eksperimental, dimana sampel yang diperoleh dari kawasan mangrove desa Sawohan Sidoarjo akan diujikan pada berbagai logam berat dengan berbagai variasi konsentrasi. Penelitian ini dilakukan di laboratorium mikrobiologi UMSurabaya, pada bulan Juli – November 2023.

Prosedur Penelitian Pengambilan sampel

Daerah pengambilan sampel terletak di 3 titik yaitu titik dekat lokasi tambak, titik dekat dengan aliran pembuangan limbah domestik dan titik tengah hutan mangrove. Pemilihan titik sampling berdasarkan kondisi lokasi yang diperkirakan memiliki kandungan mikroba potensial sebagai bioremediator logam berat. *Purposive sampling* digunakan dalam pengambilan sampel yang diperkirakan mengandung logam berat tembaga (Cu) dan raksa (Hg). Sedimen diambil dengan menggunakan botol kaca gelap steril yang kemudian dimasukkan ke dalam kolom air hingga mencapai sistem perakaran tanaman mangrove. Selanjutnya botol ditarik setelah mencapai volume $\frac{1}{4}$ dari volume botol. Kemudian botol steril ditutup pada posisi masih di dalam sedimen.

Sampel sedimen yang diambil menggunakan grab sampler seberat 250 gram per titik pengambilan, diambil dari permukaan dasar perairan dengan ketebalan kurang dari 20 cm menggunakan alat Ekman grab. Sampel tersebut dikumpulkan dalam plastik klip dan kemudian disimpan dalam

botol polyetylen sebelum dibungkus dalam kantong plastik dan ditempatkan dalam Cool box untuk pengiriman ke laboratorium. Analisis dilakukan di Laboratorium Fakultas Ilmu Kesehatan UM Surabaya untuk menilai kandungan Hg dan Cu dalam sampel sedimen tersebut. Sampel sedimen kemudian dianalisa di laboratorium Fakultas Ilmu Kesehatan UM Surabaya untuk mengetahui kandungan Hg dan Cu. Pengambilan data biota (moluska) dan sedimen dimaksudkan sebagai data dasar dalam mengumpulkan dan menganalisis kondisi eksisting kualitas perairan serta sebagai indikator pencemaran lingkungan di lokasi kajian.

Isolasi sampel

Mikroba yang mengakumulasi logam berat diisolasi dengan langkah-langkah berikut: endapan sedimen yang diambil dari tiga titik berbeda, masing-masing 10 gram, disuspensikan dalam larutan glukosa 0,5% sebanyak 90 ml. Suspensi endapan sedimen kemudian diinkubasi di shaker incubator selama 2 jam dengan kecepatan 1500 rpm, lalu diencerkan hingga 106 kali. Hasil pengenceran dikocok menggunakan vortex, dan 100 µl suspensi diinokulasikan ke dalam cawan Petri yang berisi medium Nutrient Agar (NA). Setelah itu, cawan Petri diinkubasi dalam inkubator dengan suhu 37°C selama 2 hari (Ndidiama Ezeji for et al., 2022).

Pemurnian isolat

Tahap pemurnian melibatkan langkah-langkah berikut: koloni bakteri yang telah tumbuh diremajakan pada medium agar Nutrient Agar (NA) dengan metode streak plate, dilakukan dalam dua percobaan terpisah, dan diinkubasi kembali selama 1-2 hari dalam kondisi awal. Setelah pertumbuhan koloni yang mencapai diameter 2-4 mm, bakteri tersebut diinokulasikan pada medium NA yang telah diperkaya dengan logam berat, seperti tembaga, raksa, dan timbal, dengan variasi konsentrasi (100, 250, 350, dan 500 ppm) di permukaannya. Biakan kemudian diinkubasi kembali dalam kondisi yang sama, dalam ruang gelap, selama 2 hari (Juharna et al., 2022). Sebagai kontrol, media yang tidak mengandung logam berat digunakan untuk memastikan bahwa pertumbuhan koloni tidak disebabkan oleh ketidakmampuan mikroba dalam bertahan terhadap logam berat atau jika koloni tidak muncul sama sekali. Ini dilakukan untuk mengoreksi hasil yang mungkin tidak teramati akibat ketahanan mikroba terhadap logam berat atau kesulitan

dalam pengambilan sampel koloni (Juharna et al., 2022).

Pembuatan larutan induk CuSO₄

Pembuatan larutan induk CuSO₄ 1000 ppm dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 2,512 g kristal CuSO₄, kemudian memasukkannya ke dalam labu ukur yang berisi 1 L aquades dan dihomogenkan (Agustiningrum et al., 2023).

Pembuatan larutan induk HgCl₂

Larutan awal raksa sebanyak 1000 ppm (mg/L) dipersiapkan dengan melarutkan 1353 mg HgCl₂ p.a ke dalam 100 mL aquades. Proses melarutkannya dilakukan dengan pengadukan hingga mencapai keadaan homogen. Setelah homogen, larutan tersebut dituangkan ke dalam labu takar berukuran 1000 mL, kemudian diencerkan dengan penambahan aquades hingga mencapai batas tandanya. Larutan awal ini nantinya akan diencerkan sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan untuk membuat larutan standar (Fitriani et al., 2022).

Pembuatan larutan induk PbNO₃

Pembuatan larutan induk PbNO₃ 1000 ppm dilakukan dengan cara 1,59897 gram Pb (NO₃)₂ dilarutkan dalam 1000 ml larutan aquades dan menjadi larutan baku Pb 1000 mg/L (Ndidiama Ezeji for et al., 2022).

Pemeriksaan makroskopis

Evaluasi makroskopis koloni melibatkan pengamatan visual terhadap beberapa aspek, termasuk bentuknya (apakah punctiform, irregular, filamentous, atau rhizoid), elevasinya (apakah flat, raised, atau convex), karakteristik optiknya (seperti warna, opak, translusen, atau transparan), dan sifat permukaannya (apakah halus atau kasar) (Wang et al., 2020).

Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram dimulai dengan meneteskan larutan kristal violet sebanyak 2-3 tetes pada preparat ulas dan membiarkannya selama 1 menit, diikuti dengan pencucian menggunakan air mengalir. Gram's Iodine Mordant (Emerck) kemudian diteteskan sebanyak 2-3 tetes di atas permukaan preparat dan dibiarkan selama 1 menit sebelum dicuci kembali dengan air mengalir. Selanjutnya, etil alkohol 95% diteteskan perlahan-lahan sampai kristal violet tercuci, diikuti dengan pencucian

ulang menggunakan air mengalir. Preparat kemudian ditetesi Safranin selama 45 detik, dicuci dengan air mengalir, dikeringkan, dan diamati menggunakan mikroskop (Viesser et al., 2020).

Pewarnaan endospora dilakukan dengan meletakkan preparat ulas pada rak pewarna dan menutupnya penuh dengan kertas saring. Zat warna hijau malakit kemudian diteteskan secara merata ke permukaan kertas saring menggunakan pipet Pasteur, lalu dipanaskan selama 5 menit dan didinginkan. Setelah preparat dingin, kertas saring dibuang, dan preparat dibilas dengan air mengalir sebelum dikeringkan. Selanjutnya, preparat diwarnai dengan safranin selama 1 menit, dicuci dengan air mengalir, dan dikeringkan. Preparat diamati di bawah mikroskop dengan pembesaran 1000x menggunakan minyak imersi yang diteteskan di luar atas kaca penutup. Pengukuran ukuran bakteri dilakukan menggunakan lensa foto pada mikroskop yang terhubung dengan aplikasi khusus untuk memotret dan mengukur sel bakteri (Kalaimurugan et al., 2020).

Uji katalase

Uji katalase digunakan sebagai metode untuk menilai aktivitas katalase pada bakteri yang sedang diuji. Sebagian besar bakteri menghasilkan enzim katalase yang memiliki kemampuan untuk memecah H₂O₂ menjadi H₂O dan O₂. Katalase diyakini berperan penting dalam pertumbuhan aerobik karena H₂O₂ yang dihasilkan dapat menjadi racun bagi sel mikroba. Prosedur uji ini melibatkan langkah-langkah seperti ini: suspensi bakteri dimasukkan ke dalam tabung reaksi sekitar 5 mL, kemudian suspensi tersebut ditetesi dengan 5 tetes H₂O₂ 0,5%. Jika terbentuk gelembung udara, hal ini menunjukkan hasil positif dari uji katalase (Budiyanto et al., 2021).

Uji oksidase

Uji oksidase bertujuan untuk membantu dalam identifikasi keberadaan enzim oksidase pada bakteri. Proses ini dilakukan dengan menyiapkan preparat ulas pada objek kaca yang kemudian ditutup dengan kertas saring atau tisu, lalu diteteskan larutan reagen oksidase. Hasil positif ditandai dengan perubahan warna menjadi ungu, sementara hasil negatif akan tetap tidak berwarna. Selain itu, pertumbuhan koloni bakteri diamati dalam cawan petri untuk mengetahui pH mana yang lebih mendukung pertumbuhannya (Budiyanto et al., 2021).

Uji motilitas

Uji motilitas bakteri bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan gerak atau motilitasnya. Bakteri yang bersifat motil akan menunjukkan pertumbuhan yang menyebar di sekitar tusukan ose, sementara bakteri non-motil tidak akan menunjukkan perluasan di sekitar tusukan ose. Prosedur uji ini melibatkan pengambilan suspensi bakteri sekitar 1 ml yang kemudian ditempatkan pada gelas objek cekung dan ditutup dengan gelas penutup. Selanjutnya, gelas objek diamati di bawah mikroskop untuk memeriksa pergerakan sel bakterinya (Budiyanto et al., 2021).

Uji derajat keasaman (pH)

Bakteri uji ditanam dalam Nutrient Broth (NB) sebanyak 1 ml dalam tabung Eppendorf dan diinkubasi selama 24 jam. Setelah 24 jam, bakteri yang telah mencapai usia tersebut kemudian ditambahkan HCl yang telah diencerkan sebanyak 10 µl ke setiap tabung Eppendorf untuk mencapai pH 3, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama tiga jam. Setiap jam, sebanyak 200 µl inokulum disebar di atas media Nutrient Agar (NA) dan diinkubasi pada suhu 37°C. Pengamatan dilakukan selama lima hari. Sebagai kontrol untuk uji ketahanan terhadap pH rendah, isolat bakteri yang telah ditumbuhkan dalam NB selama 24 jam namun tidak diberi perlakuan HCl, kemudian ditumbuhkan pada media NA (Sari et al., 2022).

Uji resistensi logam berat

Pengujian resistensi terhadap logam berat dilakukan setelah karakterisasi bakteri. Bakteri tersebut diuji terkait kemampuannya mengakumulasi dan mengurangi konsentrasi logam tembaga, raksa, dan timbal. Proses ini dimulai dengan menginokulasikan isolat bakteri ke dalam medium cair Nutrient Broth (NB) yang diperkaya dengan tembaga sulfat (CuSO₄), raksa(II) klorida (HgCl₂), dan Pb(NO₃)₂ dengan konsentrasi 100, 250, 350, dan 500 ppm dalam Erlenmeyer. Setiap perlakuan diulang tiga kali. Inkubasi dilakukan dalam inkubator shaker selama 72 jam dengan kecepatan 220 rpm untuk mengamati ketahanan bakteri terhadap logam berat. Setelah itu, 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 dan raksa yang lebih tinggi (Imron et al., 2021).

Bakteri yang menunjukkan ketahanan terhadap logam berat kemudian diukur nilai Optical Density (OD) dengan panjang gelombang 600 nm untuk setiap perlakuan, guna menilai kepadatan bakteri menggunakan spektrofotometer. Setelah mengidentifikasi isolat yang memiliki ketahanan berdasarkan kepadatan, dilanjutkan dengan uji penurunan konsentrasi Cu dan Hg (Jalilvand et al., 2020).

Uji penurunan kadar logam berat oleh bakteri

Pengujian penurunan kadar logam berat dilakukan setelah didapatkan bakteri tahan Cu dan Hg. Pengujian ini dilakukan dengan cara bakteri diinokulasikan ke dalam medium cair *Nutrient Broth* (Nb) yang telah diperkaya dengan masing-masing logam berat dengan konsentrasi resistensi tertinggi, yaitu 500 ppm. Ulangan pada perlakuan ini adalah tiga kali. Kemudian diinkubasikan ke dalam *incubator shaker* selama 24 jam pada suhu 37°C dengan kecepatan 220 rpm, sentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit, selanjutnya diukur kadar Cu dan Hg dengan SSA.

Pengukuran kadar Cu dan Hg menggunakan SSA

Pengukuran kadar logam Cu dan Hg dilakukan dengan cara diambil 5 ml sampel lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker ukuran 100 mL lalu ditambahkan dengan 10 ml HNO₃ dan 3 ml HClO₄. Dipanaskan HClO₄ diatas *hot plate* dengan suhu 100°C hingga volumenya berkurang setengahnya dari volume awal, untuk menguapkan sebanyak mungkin zat organik yang ada. Jika masih keruh, maka ditambahkan HNO₃ dan zat pengoksidasi lain selain sesuai dengan komposisi, kemudian disaring ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan dengan menggunakan HNO₃ 1 M hingga tanda batas dan diukur kadar Cu dan Hg

dengan SSA (Ismail & Moustafa, 2016).

Pengukuran kadar Cu dan Hg menggunakan SSA

Perhitungan konsentrasi logam Cu dan Hg terserap atau menggunakan metode Langmuir (Kladsomboon et al., 2020), dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_s = C_a - C_b$$

Perhitungan % Penurunan Kadar Logam Penentuan persentase logam berat Cu dan Hg sesuai dengan persamaan :

$$D = \frac{C(a) - C(b)}{C(a)} \times 100\%$$

Keterangan :

D = Daya Penurunan Kadar logam Cu dan Hg

C_s = Cu dan Hg yang kadarnya berkurang (ppm)

C(a) = Konsentrasi awal Cu dan Hg (ppm)

C(b) = Konsentrasi akhir Cu dan Hg (ppm)

Analisis Data

Data mengenai jenis bakteri lokal dianalisis menggunakan Bergey's Manual of Determinative of Microorganisms, edisi ke-9. Data yang diperoleh bersifat deskriptif, mengandung angka-angka kuantitatif berupa rata-rata persentase. Analisis deskriptif kuantitatif dilakukan dengan cara menggambarkan dan menjelaskan data yang telah terkumpul, kemudian diinterpretasikan melalui tabel dan grafik (Poosinuntakul et al., 2020).

Hasil

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil reduksi logam berat Cu dan Hg oleh isolate bakteri tertera pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Reduksi Logam Berat Hg dan Cu oleh Isolat Bakteri Selama berdasarkan Hari 0, 3 dan 5

Isolat	Logam Hg (ppm)			Logam Cu (ppm)		
	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-5	Hari Ke-0	Hari Ke-3	Hari Ke-5
D1	250,000	206,792	103,005	250,000	190,500	54,250
D2	250,000	190,017	97,203	250,000	187,006	81,050
D3	250,000	172,368	115,900	250,000	178,240	52,730
D4	250,000	238,261	94,350	250,000	215,500	55,320
D5	250,000	221,384	84,210	250,000	192,250	57,402
T1	250,000	178,272	68,482	250,000	148,272	45,005
T2	250,000	192,220	71,375	250,000	127,387	52,200
B1	250,000	130,135	62,213	250,000	142,156	62,302
B2	250,000	216,237	78,784	250,000	224,007	67,004

Tabel 2. Persentase reduksi logam berat

Isolat	Kadar awal (ppm)	Kadar akhir (ppm)	Daya Reduksi (%)	Kadar awal (ppm)	Kadar akhir (ppm)	Daya Reduksi (%)
D1	250,000	103,005	58,80	250,000	54,250	78,30
D2	250,000	97,203	61,12	250,000	81,050	67,58
D3	250,000	115,900	53,64	250,000	52,730	78,91
D4	250,000	94,350	62,26	250,000	55,320	77,87
D5	250,000	84,210	66,32	250,000	57,402	77,04
T1	250,000	68,482	72,61	250,000	45,005	82,00
T2	250,000	71,375	71,45	250,000	52,200	79,12
B1	250,000	62,213	75,11	250,000	62,302	75,08
B2	250,000	78,784	68,49	250,000	67,004	73,20

Pembahasan

Hasil penelitian ditinjau dari segi jumlah koloni yang terlihat, koloni bakteri yang diperoleh dari lahan basah desa Sawohan Kecamatan Buduran yang berlokasi di daerah Sidoarjo Jawa Timur memiliki jumlah koloni bakteri yang tergolong banyak. Berdasarkan hasil penelitian, jumlah koloni bakteri yang diperoleh dari lokasi lahan basah desa Sawohan sebanyak 9 isolat, yang terbagi menjadi 5 isolat yang diperoleh dari sampel tanah pada titik dekat lokasi tambak (D), 2 isolat dari sampel tanah pada titik dekat dengan aliran pembuangan limbah domestik (B) dan 2 isolat dari sampel tanah pada titik tengah hutan mangrove (T). Perbedaan jumlah isolat yang diperoleh dari masing-masing lokasi dapat disebabkan oleh faktor lingkungan daerah pengambilan sampel tanah. Menurut Irfan (2014), faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri dalam tanah yang berdampak secara langsung pada jumlah isolat yang diperoleh yaitu kandungan unsur hara tanah, kelembaban tanah, temperatur tanah dan aerasi tanah (Sari et al., 2020).

Secara topografi lahan basah wilayah Desa Sawohan berada pada ketinggian empat meter dari permukaan laut dengan curah hujan sebesar 2000 mm/th dan suhu udara rata-rata 30oC dan terletak di lokasi persawahan, hal ini dapat berpengaruh secara tidak langsung terhadap kelembaban tanah, temperatur tanah serta kandungan unsur hara tanah baik komponen organik maupun anorganik (Sampurno et al., 2017). Ketinggian suatu daerah dari permukaan laut berdampak signifikan terhadap penurunan temperatur tanah dan peningkatan kelembaban tanah, dimana setiap kenaikan 100 kaki dari permukaan laut maka akan terjadi penurunan temperatur tanah sebesar

0.71°F ekuivalen terhadap peningkatan kelembaban tanah dan aerasi tanah. Temperatur tanah baik dari bagian permukaan hingga bagian rhizosfer sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba tanah, khususnya mempengaruhi laju pembedakan enzim dan kecepatan inaktivasi enzim dalam sel bakteri (Primadina et al., 2019). Semakin tinggi temperatur eksternal sel mikroba, akan berdampak terdenaturasinya protein menjadi monomer asam amino dan secara struktural maupun fungsional enzim tersebut akan rusak, yang kemudian mengakibatkan aktivitas sel terhambat (Kartikorini et al., 2021). Begitupun sebaliknya, semakin rendah temperatur eksternal sel mikroba, maka laju pembentukan enzim akan berjalan lambat yang berakibat sel mikroba kekurangan energi untuk bermetabolisme dan bertahan hidup (Sugiharti & Gayatri, 2021).

Sama halnya dengan temperatur, kelembaban tanah dan aerasi tanah juga mempengaruhi laju pertumbuhan mikroba bergantung pada jenis mikroba, yakni mikroba aerobik atau anaerobik, dimana semakin tinggi tingkat kelembaban tanah maka kandungan oksigen akan semakin sedikit sehingga berdampak fatal bagi kehidupan mikroba aerobik (Ali et al., 2019). Begitu pula dengan aerasi tanah, proses aerasi tanah akan meningkatkan kadar oksigen dalam tanah sehingga menguntungkan bagi kehidupan mikroba aerobik (Suryono et al., 2020). Berlimpahnya unsur hara tanah berdampak positif bagi pertumbuhan mikroba tanah, karena tersedianya bahan baku penting dalam proses metabolisme sel (Mangungsong et al., 2020).

Selain dari segi topografi, pemilihan lokasi pengambilan sampel berupa ekosistem mangrove, juga mempengaruhi diversitas dari spesies bakteri.

Hal ini dikarenakan ekosistem mangrove memiliki rentang salinitas 12-15 psu, yang berada di atas ambang batas pertumbuhan optimum dari bakteri yaitu dibawah 7 psu, sehingga mayoritas bakteri yang bisa tumbuh adalah bakteri halofilik (Hendri et al., 2021). Salinitas tanah atau air yang tinggi dapat mempengaruhi mikroba melalui dua mekanisme utama: mekanisme osmotik dan mekanisme ion spesifik (Ganing et al., 2023). Garam terlarut dapat meningkatkan potensial osmotik (lebih negatif) dari air tanah, sehingga mampu menarik air keluar dari sel mikroba ataupun akar tanaman dan dapat membunuh mikroba dan akar melalui plasmolisis. Potensi osmotik yang rendah juga dapat mempersulit akar dan mikroba untuk mengeluarkan air dari tanah. Tanaman dan mikroba dapat beradaptasi dengan potensi osmotik rendah dengan mengakumulasi osmolit, namun sintesis osmolit membutuhkan energi dalam jumlah besar dan ini mengakibatkan penurunan pertumbuhan dan aktivitas sel (Lestari et al., 2021). Salah satu kelompok bakteri yang mampu tumbuh pada habitat dengan tingkat salinitas yang tinggi adalah kelompok bakteri halofilik.

Seluruh bakteri halofilik memiliki sitoplasma yang bersifat isoosmotik dengan media sekitarnya, memiliki membran biologis yang permeabel terhadap air dengan memiliki sistem transpor aktif untuk menyeimbangkan total air yang keluar dari sel serta memiliki sel-sel yang mampu mempertahankan turgor dengan tekanan osmotik intraselulernya lebih tinggi daripada lingkungannya (Foeh & Gaina, 2017). Bakteri halofilik menggunakan dua strategi untuk menyeimbangkan sitoplasma mereka secara osmotik dengan media tumbuhnya, yaitu : (1) Melibatkan akumulasi konsentrasi molar KCl, dimana strategi ini memerlukan adaptasi sistem enzimatik intraseluler dari bakteri, karena protein harus mempertahankan konformasi dan aktivitasnya yang tepat pada konsentrasi garam yang mendekati jenuh, sehingga proteom organisme tersebut bersifat sangat asam, dan sebagian besar protein mengalami denaturasi ketika tersuspensi dalam media dengan kadar garam rendah; dan (2) Mengeluarkan garam dari sitoplasma dan mensintesis dan/atau mengakumulasi zat terlarut organik 'kompatibel' yang tidak bersifat mengganggu aktivitas enzimatik (Kartikorini et al., 2021).

Hasil isolasi sampel tanah juga menunjukkan morfologi koloni yang berbeda pada masing-

masing titik sampling. Hasil morfologi morfologi koloni bakteri dari ketiga lokasi cenderung menunjukkan bentuk yang sama yakni *circular* (bulat) terdiri dari 4 isolat (D1, D2, D5 dan B2) dan *Irregular* (tidak beraturan) terdiri dari 5 isolat (D3, D4, T1,T2 dan B1) dan elevasi koloni yang sama yakni *Flat* (rata) terdiri dari 2 isolat (D2 dan D4) dan *raised* (sedikit menonjol) terdiri dari 7 isolat (D1,D3,D5, T1,T2, B1 dan B2) dengan perbedaan signifikan terlihat pada pola warna, tekstur permukaan koloni dan tepi koloni. perbedaan morfologi koloni dapat menjadi tolok ukur dalam mengidentifikasi jenis bakteri, karena masing-masing spesies bakteri dapat membentuk koloni spesifik dalam media tertentu.

Menurut penelitian Lacasta *et al* dalam (Erlambang et al., 2019) dan Golding *et al* dalam (Lestari et al., 2021), perbedaan struktur morfologi koloni bakteri disebabkan oleh 2 faktor utama yaitu kepadatan medium nutrisi tumbuh bakteri dan tingkat kekerasan medium tumbuh, yang dimana kedua faktor tersebut merupakan hasil dari konsentrasi agar yang ditambahkan dalam medium sebagai pematat. Semakin tinggi konsentrasi agar yang diberikan maka lebar percabangan arah tumbuh bakteri akan lebih tipis, hal ini dikarenakan sehingga bakteri tidak dapat bergerak secara leluasa akibat medium tumbuh yang terlalu keras. Umumnya tipe koloni yang tumbuh pada jenis medium tersebut, akan tumbuh pada satu titik dan membentuk pola tumbuh radial atau *circular* (bulat) dengan warna koloni yang transparan atau buram (Hendri et al., 2021). Selain konsentrasi agar, konsentrasi nutrisi dalam medium juga turut andil dalam membentuk pola koloni, dimana semakin tinggi konsentrasi nutrisi dalam medium maka pergerakan dan penyebaran bakteri akan semakin cepat sehingga pada umumnya medium jenis ini memiliki koloni yang *circular* (bulat) ataupun *Irregular* (tidak beraturan) dengan struktur yang kompak dan warna koloni jelas (tidak transparan) (Foeh & Gaina, 2017).

Identifikasi mikroskopis dari isolat yang berhasil diisolasi menunjukkan bahwa keseluruhan isolatnya adalah Gram negatif, dengan 7 isolat menunjukkan hasil uji katalase positif dan 2 isolat menunjukkan hasil katalase negatif. Bakteri Gram negatif tergolong sebagai jenis bakteri yang memiliki membran sel yang tipis sehingga selama proses pewarnaan Gram, pewarna dasar kristal violet dapat dihapus oleh alkohol, dan sel bakteri kemudian diwarnai oleh pewarna

pembanding seperti safranin yang berwarna merah atau pink (Lestari et al., 2017). Menurut Aryal dalam (Sugiharti & Gayatri, 2021), bakteri Gram negatif ditandai dengan karakteristik dinding sel tipis yang memiliki ketebalan sekitar 8 - 12 nm, memiliki tiga lapisan membran yang terdiri dari membran luar, membran peptidoglikan, dan membran plasma, serta memiliki membran periplasma yang khas dan kandungan lipid dan lipoprotein yang tinggi. Katalase positif yang ditunjukkan oleh isolat menunjukkan bahwa bakteri tersebut memiliki enzim katalase yang mampu mengubah hydrogen peroksida (H₂O₂), yang merupakan produk sampingan dari metabolisme aerobik dan bersifat letal, menjadi molekul oksigen dan air.

Hasil penelitian juga berhasil menunjukkan bahwa 3 isolat bersifat motil dan 6 isolat bersifat non-motil, yang berarti isolat bakteri memiliki flagella sebagai alat lokomosi dan juga 1 isolat menunjukkan hasil uji Hidrogen sulfida (H₂S) positif dan 8 isolat negatif serta 5 isolat menunjukkan hasil uji oksidase positif dan 4 isolat oksidase negatif. Menurut Arora et al dalam (Ali et al., 2019), Hydrogen sulfide bersifat racun bagi sel bakteri sehingga hanya beberapa bakteri yang mampu memproduksi hydrogen sulfide dalam rantai metabolismenya. Sedangkan menurut Aryal, S dalam (Lestari et al., 2021), uji oksidase digunakan untuk mendeteksi adanya sistem sitokrom oksidase yang akan mengkatalisis transpor elektron antara donor elektron pada bakteri dan zat warna redoks-tetrametil-p-fenilen-diamin, dimana semua bakteri yang oksidase-positif bersifat aerobik dan dapat menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron terminal dalam respirasi.

Hasil uji menunjukkan bahwa ke-9 isolat bakteri mampu mereduksi ketiga jenis logam dengan variasi daya reduksi yang berbeda-beda. Hasil uji *screening* kemampuan isolat dalam mereduksi logam Hg selama 3 hari percobaan menunjukkan penurunan yang signifikan, dimana terdapat 3 isolat yang menunjukkan persentase daya reduksi tertinggi yaitu di atas 70%. Adapun jenis isolat yang menunjukkan persentase tinggi dalam mereduksi logam Hg adalah isolat B1, T1 dan T2.

Menurut Celu et al dalam (Kartikorini et al., 2021), polusi merkuri di lingkungan akuatik selain dari aktivitas manusia yang melakukan pembuangan merkuri di perairan, juga dapat disebabkan karena mekanisme metilasi merkuri oleh mikroorganisme tertentu terutama bakteri pereduksi sulfat dan besi. Sulfur, karbon organik, dan komposisi sedimen lainnya dapat mempengaruhi produksi MeHg

dengan mengubah jumlah Hg anorganik yang tersedia secara hayati dan dengan merangsang aktivitas mikroba yang mengalami metilasi (Ganing et al., 2023). Berdasarkan sebuah penelitian yang ditunjukkan dalam ScienceDaily dalam (Erlambang et al., 2019), bakteri dapat mereduksi merkuri (Hg) karena mampu memproduksi sebuah enzim yang dikenal sebagai MerB, dimana enzim tersebut mampu memberi bakteri kemampuan untuk mengubah metilmerkuri menjadi bentuk merkuri yang kurang beracun yang menimbulkan risiko lingkungan yang jauh lebih sedikit, suatu sifat yang memungkinkan mereka bertahan hidup di lingkungan yang kaya merkuri.

Menurut Tiquia-Arashiro dalam (Suryono et al., 2020), terdapat 5 mekanisme bakteri untuk dapat mereduksi Pb, diantaranya : (1) mengikat ion logam Pb pada permukaan dinding sel .Dinding sel bakteri Gram-positif dan Gram-negatif secara alami membawa muatan negatif, yang mengikat kation logam dan mengatur pergerakan logam melintasi membran. Gugus karboksil pada dinding sel bakteri Gram-positif adalah tempat pengikatan utama kation logam, sedangkan gugus fosfat berkontribusi signifikan terhadap pengikatan logam pada spesies Gram- negative (Gadd, 2009); (2) Penyerapan logam dengan mengeluarkan zat polimer ekstraseluler (EPS). Polimer ekstraseluler adalah campuran kompleks dari polimer polianionik dengan berat molekul tinggi, seperti protein, asam humat, polisakarida, dan asam nukleat yang mengikat logam kationik dengan tingkat spesifisitas dan afinitas yang berbeda, sehingga kation logam Pb dapat diikat dan ditransformasi menjadi zat non-toksik; (3) Bioakumulasi timbal oleh metallothionein.

Metallothionein adalah protein dengan berat molekul rendah yang kaya sistein dan berperan dalam memfasilitasi penyerapan atau bioakumulasi logam beracun di dalam sel, dimana mekanisme resistensi ini sering kali ditularkan melalui plasmid, yang memfasilitasi penyebarannya dari satu sel ke sel lainnya (Das et al. 2016). Bakteri mensintesis metallothionein sebagai respons terhadap peningkatan paparan logam; (4) Pengendapan timbal. Pengendapan adalah mekanisme lain yang digunakan oleh beberapa bakteri untuk menurunkan konsentrasi logam bebas menjadi kompleks yang tidak larut dan oleh karena itu mengurangi bioavailabilitas dan toksisitasnya. Proses pengendapan terjadi di luar (ekstraseluler) atau di dalam (intraseluler) sel; (5) Pengikatan timbal oleh siderophores. Siderophores adalah kelas

utama agen kelator yang disekresikan oleh mikroorganisme di berbagai habitat. Senyawa ini berfungsi terutama sebagai mediator transportasi besi ke sel. Meskipun pendamping logam ini khusus untuk besi, mereka juga mengikat secara efektif dengan logam lain di luar sel seperti halnya logam timbal (Arimurti et al., 2022).

Hasil uji *screening* kemampuan isolat dalam mereduksi logam Cu selama 3 hari percobaan menunjukkan penurunan yang sangat signifikan, dimana terdapat 1 isolat yang menunjukkan persentase daya reduksi tertinggi yaitu di atas 80% yaitu isolat T1 mampu mereduksi logam Cu dari konsentrasi 250 ppm menjadi 45,005 ppm dengan daya reduksi sebesar 82%. Ke-delapan isolat lainnya juga menunjukkan persentase daya reduksi yang sangat tinggi yaitu rata-rata di atas 70%, diantaranya diantaranya isolat T2 dengan daya reduksi 79,12%, isolat D3 sebesar 78,91%, isolat D1 sebesar 78,30%, isolat D4 sebesar 77,87%, isolat D5 sebesar 77,04%, isolat B1 sebesar 75,08%, isolat B2 sebesar 73,20% serta isolat D2 sebesar 67,58%. Menurut Romadhon et al., (2023), mekanisme reduksi tembaga oleh bakteri meliputi: (1) ekspor tembaga transmembran, terjadi dari sitoplasma ke dalam ruang periplasma atau ke dalam lingkungan ekstraseluler; (2) penyerapan tembaga oleh metallothionein; dan (3) oksidasi Cu(i) oleh oksidase multi-tembaga untuk menghasilkan ion Cu(ii) yang kurang beracun.

Berdasarkan hasil uji karakteristik menunjukan bahwa isolat T1 tergolong spesies *Pseudomonas aeruginosa*. Bakteri ini pada dasarnya memiliki enzim katalase yang mampu menguraikan senyawa *hidrogen peroksida* (H₂O₂) menjadi air (H₂O) dan gas oksigen (O₂). Senyawa *hidrogen peroksida* (H₂O₂) ini bersifat antimikroba sehingga mayoritas dapat membunuh bakteri yang tidak memiliki enzim katalase. Bakteri ini juga memiliki enzim sitokrom oksidase yang merupakan enzim kompleks yang berperan dalam fosforilasi oksidatif. Selain itu, bakteri ini mampu memfermentasikan manitol, sitrat dan arginine sebagai salah satu sumber karbonnya. Isolat T2 diestimasi termasuk dalam spesies *Klebsiella pneumonia*. Spesies ini memiliki kemampuan untuk memfermentasikan berbagai jenis gula dan asam amino seperti glukosa, manitol, xilosa, urease, vp, sitrat, inositol, sorbitol, rhamnosa, sukrosa, laktosa, arabinosa, adonitol, raffinosa dan salisin, yang dimana hasil fermentasi tersebut dipergunakan oleh bakteri sebagai sumber karbon

dan nitrogen. Sama halnya dengan isolat T2, isolat B1 memiliki kemampuan dalam memfermentasikan berbagai jenis karbohidrat dan asam amino seperti ornitin, glukosa, manitol, xilosa, vp, sitrat, sorbitol, rhamnosa, sukrosa, laktosa, arabinosa, raffinosa, salisin dan arginin, yang dimana hasil fermentasi tersebut juga digunakan sebagai cadangan energi dalam bentuk karbon dan nitrogen. Isolat B2 ini termasuk dalam spesies *Enterobacter* sp. Perbedaan isolat T2 dan B1 adalah, dimana isolat B1 positif mampu memfermentasikan Ornitin sedangkan isolat T2 tidak mampu memfermentasikannya, isolat B1 tidak mampu memfermentasikan Urease, Inositol dan Adonitol, tetapi sebaliknya isolat T2 mampu memfermentasikan senyawa-senyawa tersebut. Oleh karena itu kedua isolat ini tergolong dua spesies yang berbeda (Lestari et al., 2021).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat menunjukkan bahwa ke-sembilan isolat memiliki kemampuan dalam mereduksi ketiga jenis logam, dimana isolat terbaik ditunjukkan oleh isolat T1 yang diestimasi berdasarkan *Bergey's* berasal dari kelompok *Pseudomonas aeruginosa*. Mekanisme reduksi logam dari ke-sembilan isolat mungkin terdapat perbedaan, tetapi pada dasarnya terdapat lima mekanisme utama resistensi logam berat pada barrier ekstraseluler bakteri yaitu transpor aktif ion logam (efflux), sekuestrasi ekstrasel, ekuestrasi intrasel, reduksi ion logam (Erlambang et al., 2019).

Kesimpulan

Isolat bakteri yang mampu mereduksi logam berat Cu dan Hg dari sedimen mangrove Desa Sawohan Kecamatan Buduran Sidoarjo. Isolat dengan kemampuan reduksi tertinggi adalah isolat T1 dengan daya reduksi Cu sebesar 82%, dan logam Hg sebesar 72,61%. Hasil identifikasi secara manual menggunakan buku *Bergey's*, teridentifikasi bahwa isolat bakteri dengan kemampuan reduksi tertinggi diestimasi berasal dari kelompok *Pseudomonas aeruginosa*.

Saran, Isolate bakteri yang dapat mereduksi logam berat Cu dan Hg perlu diuji lebih lanjut di laboratorium untuk mengetahui kemampuan isolate dalam mereduksi logam berat jenis lainnya dan nantinya akan bermanfaat untuk mengurangi pencemaran logam di lingkungan mangrove.

Deklarasi Konflik Kepentingan

Pada penelitian ini tidak ada konflik kepentingan kepada siapapun baik secara personal maupun secara institusi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Majelis Pendidikan Tinggi dan Pengembangan Pimpinan Pusat Muhammadiyah yang telah mendanai penelitian ini dan membimbing peneliti dalam menyelesaikan penelitian dan publikasi ini. Penelitian ini mendapat hibah Penelitian Dasar dengan nomor kontrak: 1687.327/PD/I.3/D/2022.

Daftar Rujukan

- Agustiningrum, E., Hardarani, N., & Susanti, H. (2023). Teknik sterilisasi eksplan daun lahung (*durio dulcis*) pada media ms secara in vitro. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(2), 65–80. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v5i2.1248>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019(2), 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Arimurti, A. R. R., Rohmayani, V., Romadhon, N., Rahmani, T. P. D., Watson, L. J., Wahyuni, K. S., & Ulumiya, N. (2022). The potency of bacteria isolated from the hydroponic rockwool of field mustard (*Brassica rapa L.*) for nitrogen fixation and indole acetic acid (IAA) production. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1). <https://doi.org/10.24252/bio.v10i1.28451>
- Budiyanto, R., Satriawan, N. E., & Suryani, A. (2021). Identifikasi dan uji resistensi *staphylococcus aureus* terhadap antibiotik (chloramphenicol dan cefotaxime sodium) dari pus infeksi piogenik di puskesmas proppo. *Jurnal Kimia Riset*, 6(2), 154–162.
- Erlambang, B. P. D., Oktarianti, R., & Wathon, S. (2019). Mikroorganisme potensial sebagai agen hayati pendegradasi limbah sampah plastik. *BioTrends: Majalah Populer Bioteknologi*, 18–26.
- Fauzizah, U., Utami, B., & Masykuri, M. (2022). Adsorpsi ion cd^{2+} dengan kombinasi adsorben cangkang telur-tongkol jagung teraktivasi menggunakan metode batch. *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia XIII*, 13(1), 80–93.
- Fitriani, N., Ni'matuzahroh, O'Marga, T. T. N., Mohamed, R. M. S. R., Wahyudianto, F. E., Imron, M. F., Isnadina, D. R. M., & Soedjono, E. S. (2022). Optimization of slow sand filtration for the raw municipal wastewater treatment by using the blood cockle (*anadara granosa*) shell as an alternative filter media through the response surface methodology. *Journal of Ecological Engineering*, 23(6), 100–111. <https://doi.org/10.12911/22998993/147833>
- Foeh, N. D. F. K., & Gaina, C. D. (2017). Sari buah lontar sebagai pengencer alami dalam mempertahankan kualitas spermatozoa babi. *Jurnal Kajian Veteriner*, 5(1), 52–58.
- Ganing, M., Syafaatullah, A. Q., Asdiana, A., Yusuf, I. S., Junianti, F., & Suleman, I. (2023). Pemanfaatan arang aktif dari tongkol jagung sebagai adsorben ion Pb^{2+} . In *JTKM* (Vol. 2, Issue 2).
- Hendri, S., Handika, R., Kenedi, A. K., & Ramadhani, D. (2021). Pengembangan modul digital pembelajaran matematika berbasis science, technology, engineering, mathematic untuk calon guru sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(4), 2395–2403. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i4.1172>
- Hendri, S., Hendika, R., Kenedi, A. K., & Ramadhani, D. (2021). Pengembangan modul digital pembelajaran matematika berbasis science, technology, engineering, mathematic untuk calon guru sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(4), 2395–2403.
- Herdiansyah, H. (2018). Pengelolaan konflik sumber daya alam terbarukan di perbatasan dalam pendekatan ekologi politik. *Jurnal Hubungan Internasional*, 7(2), 143–151. <https://doi.org/10.18196/hi.72134>
- Imron, M. F., Kurniawan, S. B., & Abdullah, S. R. S. (2021). Resistance of bacteria isolated from leachate to heavy metals and the removal of Hg by *Pseudomonas aeruginosa* strain FZ-2 at different salinity levels in a batch biosorption system. *Sustainable Environment Research*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00088-6>

- Irfan, M. (2014). Isolasi dan enumerasi bakteri tanah gambut di perkebunan kelapa sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 1–7.
- Ishak, N. I., Mahmudah, M., Kasman, K., Ishak, E., Effendy, I. J., & Fekri, L. (2023). Analysis of heavy metal content in martapura river water, South Kalimantan Province in 2022. *Journal of Fishery Science and Innovation*, 7(1), 35–41.
<https://doi.org/10.33772/jsipi.v7i1.210>
- Ismail, I., & Moustafa, T. (2016). Biosorption of heavy metals. *Heavy Metals: Sources, Toxicity and Remediation Techniques, October*, 131–174.
- Jalilvand, N., Akhgar, A., Alikhani, H. A., Rahmani, H. A., & Rejali, F. (2020). Removal of heavy metals zinc, lead, and cadmium by biomineralization of urease-producing bacteria isolated from iranian mine calcareous soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 206–219.
<https://doi.org/10.1007/s42729-019-00121-z>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan logam berat timbal (pb) dan kromium (cr) pada kerang hijau (perna viridis) di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.41617>
- Kalaimurugan, D., Balamuralikrishnan, B., Durairaj, K., Vasudhevan, P., Shivakumar, M. S., Kaul, T., Chang, S. W., Ravindran, B., & Venkatesan, S. (2020). Isolation and characterization of heavy-metal-resistant bacteria and their applications in environmental bioremediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1455–1462.
<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02563-5>
- Kartikorini, N., Kunsah, B., & ... (2021). Efektivitas lama perendaman serbuk kulit jeruk manis (citrus sinensis) terhadap bilangan peroksida pada minyak jelantah. *The Journal of ...*, 2(4), 216–224.
- Kladsomboon, S., Jaiyen, C., Choprathumma, C., Tusai, T., & Apilux, A. (2020). Heavy metals contamination in soil, surface water, crops, and resident blood in Uthai District, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(2), 545–561.
<https://doi.org/10.1007/s10653-019-00388-2>
- Lestari, S., Sudarmadji, S., Tandjung, S. D., & Santosa, S. J. (2017). Biosorpsi krom total dalam limbah cair batik dengan biosorben yang dikemas dalam kantong teh celup. *Biosfera*, 33(2), 71.
<https://doi.org/10.20884/1.mib.2016.33.2.428>
- Lestari, W. Y., Nuroini, F., & Mukaromah, A. H. (2021). Gambaran kadar asam urat pada petani di Desa Penaruban Kecamatan Kaligondang Kabupaten Purbalingga. *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, 4(1), 1556–1563.
- Mangungsong, A., Soemarsono, S., & Zudri, F. (2020). Pemanfaatan mikroba tanah dalam pembuatan pupuk organik serta peranannya terhadap tanah aluvial dan pertumbuhan bibit tanaman kakao. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 47(3), 318–325.
<https://doi.org/10.24831/jai.v47i3.24721>
- Miharja, D. S., & Sidharta, I. (2018). Pengaruh pengelolaan kelancaran proses produksi terhadap kualitas produk migas yang dimoderasi peran laboratorium. *Jurnal Kontingen*, 6(1), 29–34.
- Ndidiamaka Ezejiofor, A., Orish, C. N., & Akaranta, O. (2022). Original article multi-organ induced toxicity of metal mixture (cdcl₂, hgcl₂, pb(no₃)), and the ameliorative potentials of plantain musa paradisiaca (f. musaceae) stem juice on male wistar rats. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol*, 14(4), 211–224. www.ijppp.org
- Poosinuntakul, N., Parnklang, T., Sitiwed, T., Chaiyo, S., Kladsomboon, S., Chailapakul, O., & Apilux, A. (2020). Colorimetric assay for determination of Cu (II) ions using L-cysteine functionalized silver nanoplates. *Microchemical Journal*, 158(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105101>
- Primadina, N., Basori, A., & Perdanakusuma, D. S. (2019). Proses penyembuhan luka ditinjau dari aspek mekanisme seluler dan molekuler. *Qanun Medika*, 3(1), 31–43.
- Rahman, F. A., Listari, N., & Jannah, S. W. (2022). Bioakumulasi logam berat (pb) pada vegetasi mangrove famili rhizophoraceae di Teluk Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(2), 1273–1284.
<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i2.5956>

- Romadhon, N., Ni'matuzahroh, N., Purnobasuki, H., Rohmayani, V., Arimurti, A. R. R., Riandi, M. I., & Juniawan, M. F. (2023). *Fitoremediasi mangrove dalam penurunan kadar logam pb, hg dan cu* (r. setiawan, ed.; setia). UM Surabaya.
- Sampurno, E. A., Yusrudin, Y., & Noor, M. T. (2017). Pengaruh jenis umpan terhadap hasil tangkapan kepiting bakau (*scylla sp*) pada alat tangkap bubu di Desa Sawohan Kecamatan Buduran Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal TECHNO-FISH*, 1(2), 65–77.
- Sari, D. P., Amir, H., & Elvia, R. (2020). Isolasi bakteri dari tanah tempat pembuangan akhir (tpa) air sebakul sebagai agen biodegradasi limbah plastik polyethylene. *ALOTROP : Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 4(2), 98–106.
- Sari, R., Bintari, Y. R., & Damayanti, D. S. (2022). Pengaruh variasi konsentrasi sukrosa terhadap derajat keasaman dan total bakteri asam laktat kombucha daun sirsak (*Annona muricata L.*). *Jurnal Kedokteran Komunitas*, 10(1), 1–7.
- Sugiharti, N., & Gayatri, Y. (2021). Profil kemampuan berpikir kritis siswa sma muhammadiyah kota surabaya pada pembelajaran biologi. *Jurnal Pedago Biologi*, 9(1), 34–40.
- Suryono, S., Taufiq-SPJ, N., Pratikto, I., & Ario, R. (2020). Sebaran mangrove di Desa Bumiharjo Kecamatan Keling Kabupaten Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2), 117–124. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i2.29067>
- Viesser, J. A., Sugai-Guerios, M. H., Malucelli, L. C., Pincerati, M. R., Karp, S. G., & Maranhão, L. T. (2020). Petroleum-tolerant rhizospheric bacteria: isolation, characterization and bioremediation potential. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59029-9>
- Wang, Y., Luo, Y., Zeng, G., Wu, X., Wu, B., Li, X., & Xu, H. (2020). Characteristics and in situ remediation effects of heavy metal immobilizing bacteria on cadmium and nickel co-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110294>