

LAPORAN PENELITIAN

Judul Penelitian :

**ISOLASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI INDEGENOUS YANG
BERPOTENSI SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT (CU
DAN HG) PADA LAHAN MANGROVE DI DESA BUDURAN SIDOARJO**



**Fakultas
Ilmu Kesehatan**

Oleh :

Vella Rohmayani, S.Pd., M.Si

Holy Ichda Wahyuni, S.Pd., M.Si

Maulidya Pertiwi Assalindra T.P

Amelia Azzahra

**FAKULTAS ILMU KESEHATAN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA**

Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya 60113

Telp. 031-3811966

<http://www.um-surabaya.ac.id> Tahun 2024

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.3.1 Tujuan Umum	6
1.3.2 Tujuan Khusus	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.4.1 Manfaat Teoritis	7
1.4.2 Manfaat Praktis	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Ekosistem Mangrove	9
2.1.1 Pengertian Mangrove	9
2.1.2 Fungsi Ekosistem Mangrove.....	10
2.2 Sedimen Mangrove sebagai Habitat Bakteri	11
2.3 Logam Berat.....	12
2.4 Logam Tembaga (Cu)	13
2.5 Logam Merkuri (Hg).....	14
2.6 Bakteri Indigenous	15
2.7 Bioremediasi	16
2.8 Mekanisme Resistensi Bakteri terhadap Logam Berat	17

2.9 Isolasi Bakteri.....	18
2.10 Identifikasi Bakteri.....	19
2.11 Potensi Bakteri Mangrove sebagai Agen Bioremediasi	20
2.12 Kerangka Konsep	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian	22
3.2 Kerangka Kerja Penelitian	23
3.3 Populasi, Sampel, dan Teknik Pengambilan Sampel	24
3.3.1 Populasi Penelitian.....	24
3.3.2 Sampel Penelitian.....	24
3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel.....	24
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.4.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.4.2 Waktu Penelitian	25
3.5 Variabel Penelitian.....	26
3.6 Alat dan Bahan.....	26
3.6.1 Alat.....	26
3.6.2 Bahan	27
3.7 Prosedur Penelitian.....	28
3.7.1 Pengambilan Sampel Sedimen.....	28
3.7.2 Pembuatan Suspensi Sampel.....	28
3.7.3 Isolasi Bakteri.....	29
3.7.4 Pemurnian Isolat.....	29
3.7.5 Skrining Toleransi Logam Cu dan Hg	30
3.7.6 Pewarnaan Gram	31
3.7.7 Identifikasi Biokimia.....	31
3.7.8 Penentuan Isolat Potensial.....	32
3.8 Analisis Data	33

BAB IV HASIL PENELITIAN	34
4.1 Hasil Isolasi Bakteri dari Sedimen Mangrove	34
4.2 Hasil Skrining Toleransi terhadap Logam Cu.....	36
4.3 Hasil Skrining Toleransi terhadap Logam Hg	38
4.4 Hasil Pewarnaan Gram dan Identifikasi Isolat Potensial	40
BAB V PEMBAHASAN	42
5.1 Isolasi Bakteri Indigenous dari Sedimen Mangrove	42
5.2 Potensi Toleransi terhadap Logam Cu	44
5.3 Potensi Toleransi terhadap Logam Hg.....	47
5.4 Identifikasi Isolat Bakteri Potensial	50
5.5 Potensi Bakteri Indigenous sebagai Agen Bioremediasi	53
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	56
6.1 Kesimpulan	56
6.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	64

ABSTRAK

Fiksasi merupakan salah satu tahapan penting dalam pembuatan preparat histopatologi karena berperan dalam mempertahankan struktur dan morfologi jaringan sebelum dilakukan proses pengolahan jaringan dan pewarnaan. Salah satu bahan fiksatif yang umum digunakan adalah Neutral Buffered Formalin (NBF) 10%. Lama fiksasi dapat memengaruhi kualitas preparat yang dihasilkan, karena waktu fiksasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan jaringan belum terfiksasi secara optimal, sedangkan fiksasi yang terlalu lama berpotensi menimbulkan perubahan pada struktur jaringan. Pewarnaan Hematoksilin-Eosin (HE) merupakan metode pewarnaan rutin dalam pemeriksaan histopatologi yang digunakan untuk memberikan gambaran inti sel, sitoplasma, serta struktur jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama fiksasi terhadap kualitas pewarnaan Hematoksilin-Eosin pada jaringan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorik dengan rancangan perlakuan berupa variasi lama fiksasi menggunakan larutan NBF 10%. Jaringan yang telah difiksasi selanjutnya diproses melalui tahapan dehidrasi, clearing, impregnasi, embedding, pemotongan, dan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Kualitas pewarnaan diamati secara mikroskopis berdasarkan kejelasan inti sel, pewarnaan sitoplasma, keseragaman warna, dan keutuhan struktur jaringan. Data hasil pengamatan disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis untuk mengetahui perbedaan kualitas pewarnaan pada setiap variasi lama fiksasi. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan adanya pengaruh lama fiksasi terhadap kualitas pewarnaan Hematoksilin-Eosin, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai lama fiksasi yang sesuai untuk menghasilkan preparat jaringan dengan kualitas pewarnaan yang baik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dalam pelaksanaan proses fiksasi pada pemeriksaan histopatologi serta menambah informasi bagi mahasiswa dan tenaga laboratorium dalam menjaga mutu preparat jaringan.

Kata kunci: Fiksasi, Hematoksilin-Eosin, Kualitas Pewarnaan, Lama Fiksasi, NBF 10%.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah pesisir merupakan kawasan yang memiliki peranan penting dalam kehidupan masyarakat karena menjadi tempat berlangsungnya berbagai aktivitas, seperti perikanan, permukiman, transportasi, pariwisata, dan kegiatan industri. Peningkatan aktivitas manusia di wilayah pesisir dapat memberikan dampak terhadap kualitas lingkungan, salah satunya berupa masuknya bahan pencemar ke dalam perairan dan sedimen. Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang perlu mendapat perhatian karena memiliki sifat toksik, persisten, dan dapat mengalami akumulasi pada organisme maupun lingkungan. Keberadaan logam berat di lingkungan perairan dapat berasal dari kegiatan industri, pertambangan, pertanian, limbah domestik, serta aktivitas antropogenik lainnya (Ali et al., 2019; Rahman & Singh, 2019).

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki kemampuan dalam menahan dan mengakumulasi berbagai bahan pencemar yang masuk dari wilayah daratan maupun perairan. Sistem perakaran mangrove dapat memperlambat aliran air dan menyebabkan terjadinya pengendapan partikel sedimen. Kondisi tersebut menjadikan kawasan mangrove sebagai salah satu tempat akumulasi bahan pencemar, termasuk logam berat. Sedimen mangrove dapat berfungsi sebagai tempat terperangkapnya logam berat dalam jangka waktu tertentu, sehingga konsentrasi logam berat pada sedimen perlu diperhatikan sebagai salah satu indikator kondisi pencemaran lingkungan pesisir (MacFarlane et al., 2007; Liu et al., 2021).

Sidoarjo merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur yang memiliki kawasan pesisir dan ekosistem mangrove. Kawasan pesisir di wilayah ini mendapatkan tekanan lingkungan dari perkembangan aktivitas permukiman, industri, perikanan, serta aktivitas masyarakat lainnya. Bahan pencemar dari berbagai aktivitas tersebut dapat terbawa melalui aliran sungai menuju kawasan pesisir dan akhirnya terakumulasi pada sedimen. Oleh karena itu, keberadaan logam berat pada ekosistem mangrove di wilayah Sidoarjo menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang penting untuk dikaji, khususnya melalui pendekatan biologis yang dapat memanfaatkan kemampuan organisme lokal dalam menghadapi kondisi lingkungan tercemar (Rohmayani et al., 2024).

Salah satu jenis logam berat yang banyak mendapat perhatian adalah tembaga atau copper (Cu). Tembaga merupakan logam esensial yang diperlukan dalam jumlah kecil

untuk menunjang beberapa proses biologis. Namun, konsentrasi Cu yang berlebihan dapat bersifat toksik terhadap organisme. Paparan Cu dalam jumlah tinggi dapat mengganggu aktivitas enzim, meningkatkan pembentukan radikal bebas, menyebabkan kerusakan membran sel, serta mengganggu pertumbuhan mikroorganisme dan organisme perairan. Keberadaan Cu dalam lingkungan pesisir dapat berasal dari aktivitas industri, limbah domestik, cat kapal, aktivitas pelabuhan, dan berbagai aktivitas antropogenik lainnya (Ali et al., 2019; Tchounwou et al., 2012).

Selain Cu, merkuri atau mercury (Hg) merupakan logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi dan dapat memberikan dampak terhadap kesehatan manusia maupun ekosistem. Merkuri dapat berada di lingkungan dalam berbagai bentuk dan dapat mengalami perubahan menjadi senyawa yang lebih berbahaya melalui proses biogeokimia. Salah satu bentuk merkuri yang sangat diperhatikan adalah metilmerkuri karena dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan. Paparan merkuri dapat mengganggu sistem saraf, ginjal, sistem imun, serta berbagai fungsi biologis lainnya. Keberadaan Hg di lingkungan dapat berasal dari aktivitas industri, pertambangan, pembakaran bahan bakar, serta pembuangan limbah yang tidak dikelola secara optimal (Branco et al., 2017; Li et al., 2020).

Upaya penanganan pencemaran logam berat dapat dilakukan melalui berbagai metode, baik secara fisik, kimia, maupun biologis. Metode fisik dan kimia sering digunakan untuk mengurangi kadar logam berat, tetapi beberapa metode tersebut memiliki keterbatasan berupa biaya yang tinggi, kebutuhan energi yang besar, penggunaan bahan kimia tambahan, serta kemungkinan menghasilkan limbah sekunder. Oleh karena itu, metode biologis seperti bioremediasi menjadi salah satu alternatif yang terus dikembangkan. Bioremediasi memanfaatkan aktivitas organisme, termasuk mikroorganisme, untuk mengurangi toksisitas, mengubah bentuk, mengakumulasi, atau mengimobilisasi bahan pencemar sehingga dampaknya terhadap lingkungan dapat diminimalkan (Igiri et al., 2018; Ojuederie & Babalola, 2017).

Bakteri merupakan salah satu kelompok mikroorganisme yang berpotensi digunakan sebagai agen bioremediasi logam berat. Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk bertahan pada lingkungan yang mengandung konsentrasi logam tertentu melalui mekanisme resistensi. Mekanisme tersebut dapat berupa biosorpsi pada permukaan sel, bioakumulasi di dalam sel, pembentukan senyawa pengkelat, transformasi bentuk kimia logam, presipitasi, maupun penggunaan sistem efflux untuk mengeluarkan logam dari

dalam sel. Kemampuan tersebut menjadikan bakteri sebagai salah satu organisme yang potensial untuk dikembangkan dalam penanganan pencemaran logam berat (Fashola et al., 2016; Gupta et al., 2018).

Bakteri indigenous merupakan bakteri yang secara alami berasal dari suatu lingkungan tertentu dan telah beradaptasi terhadap kondisi lingkungan tersebut. Penggunaan bakteri indigenous dalam proses bioremediasi memiliki keunggulan karena bakteri telah beradaptasi dengan faktor-faktor lokal, seperti salinitas, pH, suhu, kandungan bahan organik, dan keberadaan bahan pencemar. Bakteri yang berasal dari lingkungan tercemar juga memiliki kemungkinan lebih besar untuk memiliki mekanisme toleransi terhadap bahan pencemar yang terdapat pada lokasi tersebut. Oleh sebab itu, isolasi bakteri indigenous dari sedimen mangrove merupakan salah satu langkah yang penting dalam pencarian agen bioremediasi potensial (Ojuederie & Babalola, 2017; Kumar et al., 2021).

Sedimen mangrove merupakan habitat yang kaya akan berbagai jenis mikroorganisme. Kondisi lingkungan yang dinamis, seperti perubahan pasang surut, variasi salinitas, rendahnya oksigen pada bagian tertentu, serta adanya bahan organik, menyebabkan terbentuknya komunitas mikroorganisme yang beragam. Bakteri yang hidup di dalam sedimen mangrove berperan dalam berbagai proses ekologis, termasuk dekomposisi bahan organik, siklus unsur hara, transformasi senyawa kimia, dan proses detoksifikasi bahan pencemar. Keberagaman tersebut menunjukkan bahwa ekosistem mangrove berpotensi menjadi sumber bakteri yang dapat dikembangkan untuk tujuan bioteknologi lingkungan (Alongi, 2020; Zhang et al., 2022).

Penelitian sebelumnya di kawasan mangrove Sidoarjo menunjukkan bahwa sedimen mangrove dapat menjadi sumber bakteri indigenous yang berpotensi dalam proses bioremediasi logam berat. Penelitian Rohmayani et al. (2024) berhasil memperoleh beberapa isolat bakteri dari sedimen mangrove di Desa Sawohan, Sidoarjo, yang mampu menunjukkan kemampuan dalam menghadapi logam Cu dan Hg. Salah satu isolat yang diidentifikasi sebagai *Pseudomonas aeruginosa* menunjukkan kemampuan penurunan Cu sebesar 82% dan Hg sebesar 72,61%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lingkungan mangrove di wilayah Sidoarjo memiliki potensi sebagai sumber isolat bakteri yang mampu beradaptasi terhadap keberadaan logam berat.

Penelitian lain pada sedimen mangrove juga menunjukkan bahwa mikroorganisme dari kawasan tersebut memiliki kemampuan toleransi terhadap logam berat. Isolat bakteri dari sedimen mangrove Tapak, Semarang, telah dilaporkan mampu tumbuh pada media

yang mengandung logam Cu dan Pb. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa bakteri yang diisolasi dari lingkungan mangrove dapat memiliki karakteristik resistensi terhadap logam berat dan berpotensi untuk dikembangkan dalam penelitian bioremediasi selanjutnya (Baharudin et al., 2023).

Desa Buduran, Sidoarjo, memiliki kawasan yang secara geografis masih berada dalam lingkungan pesisir Sidoarjo dan dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat di sekitarnya. Perubahan penggunaan lahan, perkembangan permukiman, kegiatan industri, serta aktivitas perairan dapat memberikan tekanan terhadap kualitas lingkungan pesisir. Kondisi tersebut perlu mendapat perhatian karena bahan pencemar yang berasal dari aktivitas daratan dapat terbawa menuju lingkungan pesisir dan terakumulasi pada sedimen. Kajian mengenai bakteri indigenous pada lingkungan mangrove di Desa Buduran penting dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai potensi mikroorganisme lokal dalam menghadapi keberadaan logam berat Cu dan Hg.

Isolasi dan identifikasi bakteri indigenous dari sedimen mangrove dapat memberikan informasi mengenai jenis bakteri yang mampu tumbuh pada lingkungan yang mengandung logam berat. Tahapan penelitian dapat dimulai dengan pengambilan sampel sedimen, isolasi bakteri menggunakan media pertumbuhan, pemurnian isolat, skrining kemampuan toleransi terhadap logam berat, dan identifikasi karakteristik isolat yang menunjukkan potensi terbaik. Identifikasi dapat dilakukan melalui pengamatan karakteristik koloni, pemeriksaan mikroskopis, pewarnaan Gram, serta uji biokimia. Apabila tersedia fasilitas pendukung, identifikasi dapat dikonfirmasi menggunakan metode molekuler berbasis gen 16S rRNA (Baharudin et al., 2023; Kumar et al., 2021).

Pengembangan penelitian mengenai bakteri indigenous sebagai agen bioremediasi tidak hanya memberikan manfaat dalam bidang mikrobiologi lingkungan, tetapi juga memiliki relevansi dengan bidang Teknologi Laboratorium Medis. Kemampuan dalam melakukan isolasi, identifikasi, karakterisasi mikroorganisme, serta analisis kemampuan bakteri terhadap bahan tertentu merupakan bagian dari penerapan ilmu mikrobiologi. Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemanfaatan ilmu mikrobiologi laboratorium dalam bidang lingkungan dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengolahan pencemaran yang lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, peneliti bersama tim dosen tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “Isolasi dan Identifikasi Bakteri Indigenous yang Berpotensi sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat (Cu dan Hg) pada Lahan Mangrove di Desa Buduran

Sidoarjo.” Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh isolat bakteri indigenous dari sedimen mangrove, mengetahui karakteristik isolat yang diperoleh, serta menganalisis potensi bakteri dalam menghadapi paparan logam berat Cu dan Hg secara in vitro.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: “Bagaimana pemahaman masyarakat mengenai Edukasi pemanfaatan tanah mangrove Sebagai penghasil Agen Bioremediasi Logam Berat (Cu Dan Hg)?”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Ingin memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai Edukasi pemanfaatan tanah mangrove Sebagai penghasil Agen Bioremediasi Logam Berat (Cu Dan Hg)

1.3.1 Tujuan Khusus

1. Mengisolasi bakteri indigenous dari sedimen lahan mangrove di Desa Buduran Sidoarjo.
2. Mengetahui karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri yang diperoleh.
3. Mengetahui kemampuan pertumbuhan isolat bakteri indigenous pada media yang mengandung logam berat Cu.
4. Mengetahui kemampuan pertumbuhan isolat bakteri indigenous pada media yang mengandung logam berat Hg.
5. Menentukan isolat bakteri yang memiliki kemampuan toleransi terbaik terhadap logam berat Cu dan Hg.
6. Mengidentifikasi isolat bakteri potensial berdasarkan karakteristik morfologi, pewarnaan Gram, dan pemeriksaan biokimia.
7. Menganalisis potensi isolat bakteri indigenous sebagai kandidat agen bioremediasi logam berat.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi dan pengembangan ilmu pengetahuan mengenai keberadaan bakteri indigenous pada ekosistem mangrove serta potensinya dalam menghadapi pencemaran logam berat Cu dan Hg.

Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menambah referensi dalam bidang mikrobiologi lingkungan, khususnya mengenai isolasi, identifikasi, dan pemanfaatan bakteri sebagai agen bioremediasi logam berat.

1.4.2 Manfaat Praktis

a. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat mengenai pentingnya menjaga ekosistem mangrove dari pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran logam berat.

b. Bagi Institusi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi bagi institusi pendidikan dalam pengembangan penelitian di bidang mikrobiologi lingkungan dan Teknologi Laboratorium Medis.

c. Bagi Peneliti

Penelitian ini dapat meningkatkan pengalaman dan pengetahuan peneliti dalam melakukan pengambilan sampel lingkungan, isolasi mikroorganisme, identifikasi bakteri, serta pengujian potensi bakteri sebagai agen bioremediasi.

d. Bagi Peneliti Selanjutnya

Hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi molekuler, mekanisme resistensi, optimasi kondisi bioremediasi, dan aplikasi bakteri indigenous dalam pengolahan lingkungan yang tercemar logam berat.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

2.1.1 Pengertian Mangrove

Mangrove merupakan kelompok tumbuhan yang mampu tumbuh dan beradaptasi pada daerah pesisir yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Ekosistem mangrove berada pada wilayah peralihan antara daratan dan laut sehingga memiliki kondisi lingkungan yang khas, seperti salinitas tinggi, perubahan kadar air, kondisi tanah berlumpur, dan fluktuasi pasang surut. Mangrove memiliki kemampuan adaptasi melalui struktur akar dan mekanisme fisiologis tertentu yang memungkinkan tumbuhan tetap bertahan pada kondisi lingkungan tersebut (Alongi, 2020).

Ekosistem mangrove tidak hanya terdiri atas vegetasi mangrove, tetapi juga mencakup berbagai organisme yang hidup dan berinteraksi di dalamnya. Mikroorganisme merupakan salah satu komponen penting dalam ekosistem mangrove karena berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, siklus unsur hara, transformasi senyawa, dan pemeliharaan keseimbangan ekosistem. Kondisi sedimen mangrove yang kaya bahan organik dapat mendukung pertumbuhan berbagai kelompok mikroorganisme, termasuk bakteri (Zhang et al., 2022).

2.1.2 Fungsi Ekosistem Mangrove

Mangrove memiliki berbagai fungsi ekologis, antara lain sebagai pelindung pantai, penahan abrasi, penyerap karbon, habitat berbagai organisme, dan penyangga kualitas lingkungan pesisir. Sistem akar mangrove dapat memperlambat aliran air dan menangkap partikel sedimen. Proses tersebut menyebabkan berbagai zat yang terbawa oleh aliran air, termasuk logam berat, dapat mengalami pengendapan pada sedimen di kawasan mangrove (Liu et al., 2021).

Kemampuan mangrove dalam menangkap sedimen menyebabkan ekosistem ini dapat berfungsi sebagai perangkap alami bagi bahan pencemar. Namun, kemampuan tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam

berat dalam jangka waktu panjang. Konsentrasi logam berat pada sedimen dapat dipengaruhi oleh sumber pencemar, kondisi pH, salinitas, kandungan bahan organik, ukuran partikel, dan kondisi oksidasi-reduksi (Zhang et al., 2022).

2.2 Sedimen Mangrove sebagai Habitat Bakteri

Sedimen mangrove merupakan salah satu habitat yang memiliki keragaman mikroorganisme tinggi. Lingkungan tersebut mengandung bahan organik yang berasal dari serasah daun, akar, organisme mati, dan material yang terbawa dari wilayah sekitarnya. Bahan organik tersebut menjadi sumber nutrisi bagi berbagai mikroorganisme yang hidup dalam sedimen (Alongi, 2020).

Komunitas mikroba dalam sedimen mangrove dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti salinitas, pH, kadar oksigen, pasang surut, dan kandungan bahan organik. Perbedaan kondisi tersebut dapat menyebabkan adanya perbedaan komposisi mikroorganisme pada setiap lokasi mangrove. Mikroorganisme yang hidup dalam lingkungan tersebut memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi ekstrem dan dapat berpotensi menghasilkan berbagai aktivitas metabolik yang bermanfaat dalam bidang bioteknologi (Zhang et al., 2022).

Keberadaan logam berat dalam sedimen dapat menjadi faktor seleksi bagi mikroorganisme. Bakteri yang mampu bertahan pada kondisi tersebut kemungkinan memiliki mekanisme toleransi tertentu terhadap logam. Bakteri tersebut dapat melakukan proses biosorpsi, bioakumulasi, transformasi, maupun pengendalian konsentrasi logam dalam sel sehingga tetap mampu tumbuh pada lingkungan yang mengandung bahan toksik (Fashola et al., 2016).

2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki massa jenis relatif tinggi dan dapat bersifat toksik apabila berada dalam konsentrasi tertentu. Beberapa logam berat memiliki fungsi biologis dalam jumlah kecil, sedangkan sebagian lainnya tidak memiliki fungsi biologis dan tetap dapat memberikan efek toksik. Keberadaan logam berat dalam lingkungan perlu diperhatikan karena sifatnya

yang sulit terdegradasi secara biologis dan dapat mengalami akumulasi pada organisme maupun sedimen (Ali et al., 2019).

Sumber logam berat dapat berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia. Aktivitas industri, pertambangan, pertanian, transportasi, pembakaran bahan bakar, serta pembuangan limbah merupakan beberapa sumber antropogenik yang dapat meningkatkan konsentrasi logam berat di lingkungan. Logam yang masuk ke perairan dapat tetap berada dalam kolom air atau mengalami pengikatan dengan partikel kemudian mengendap pada sedimen (Ali et al., 2019).

2.4 Logam Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan logam yang memiliki fungsi penting dalam beberapa proses biologis. Cu berperan sebagai kofaktor beberapa enzim dan diperlukan dalam jumlah kecil untuk metabolisme organisme. Namun, peningkatan konsentrasi Cu dapat menyebabkan efek toksik. Cu yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan metabolisme, memicu stres oksidatif, dan menyebabkan kerusakan pada komponen sel (Tchounwou et al., 2012).

Pencemaran Cu pada lingkungan perairan dapat berasal dari berbagai aktivitas, seperti industri, limbah domestik, pertambangan, dan aktivitas kelautan. Cu yang berada dalam perairan dapat mengalami perubahan bentuk dan berinteraksi dengan komponen sedimen. Akumulasi Cu dalam sedimen dapat menyebabkan mikroorganisme dan organisme benthik mengalami paparan secara terus-menerus (Ali et al., 2019).

Bakteri yang hidup pada lingkungan yang mengandung Cu dapat mengembangkan berbagai mekanisme resistensi. Mekanisme tersebut meliputi pengikatan Cu pada dinding sel, penggunaan protein pengikat logam, pembentukan senyawa pengkelat, dan pengeluaran ion logam melalui sistem transport aktif. Mekanisme tersebut memungkinkan bakteri tertentu tetap dapat tumbuh pada kondisi dengan konsentrasi Cu yang dapat menghambat mikroorganisme lain (Gupta et al., 2018).

2.5 Logam Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan salah satu logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi. Logam ini dapat ditemukan dalam beberapa bentuk, baik bentuk elemental maupun senyawa anorganik dan organik. Transformasi merkuri di lingkungan dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dan kondisi lingkungan (Branco et al., 2017).

Merkuri dapat memberikan dampak negatif terhadap organisme karena mampu berikatan dengan gugus sulfhidril pada protein dan mengganggu aktivitas berbagai enzim. Paparan merkuri juga dapat menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan pada membran sel. Oleh karena itu, keberadaan Hg dalam lingkungan perairan perlu dikendalikan untuk mencegah dampak terhadap organisme dan kesehatan manusia (Li et al., 2020).

Beberapa bakteri memiliki mekanisme resistensi terhadap Hg melalui sistem gen resistensi merkuri. Salah satu mekanisme penting adalah transformasi senyawa merkuri menjadi bentuk yang lebih mudah dilepaskan dari sel atau lingkungan. Kemampuan mikroorganisme dalam melakukan transformasi tersebut menjadikan bakteri sebagai salah satu organisme yang potensial dalam pengembangan teknologi bioremediasi merkuri (Branco et al., 2017).

2.6 Bakteri Indigenous

Bakteri indigenous merupakan bakteri yang berasal dan hidup secara alami pada lingkungan tertentu. Bakteri tersebut telah mengalami proses adaptasi terhadap kondisi fisik, kimia, dan biologis lingkungan asalnya. Oleh karena itu, bakteri indigenous sering memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik apabila digunakan kembali pada lingkungan dengan karakteristik serupa (Ojuederie & Babalola, 2017).

Bakteri indigenous dari lingkungan tercemar memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai agen bioremediasi. Mikroorganisme yang terus-menerus terpapar bahan pencemar dapat mengalami proses seleksi sehingga organisme yang bertahan kemungkinan memiliki mekanisme toleransi tertentu. Kemampuan tersebut dapat berupa biosorpsi, bioakumulasi, presipitasi, transformasi kimia, atau penggunaan sistem transport untuk mengurangi

konsentrasi logam di dalam sel (Fashola et al., 2016).

Bakteri indigenous dari lingkungan mangrove menarik untuk dikaji karena lingkungan mangrove memiliki kondisi yang kompleks dan berubah secara dinamis. Selain harus mampu menghadapi perubahan salinitas dan pasang surut, bakteri di lingkungan tersebut juga dapat beradaptasi terhadap keberadaan bahan organik dan bahan pencemar. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroorganisme mangrove memiliki potensi bioteknologi dalam mitigasi pencemaran lingkungan, termasuk dalam penanganan logam berat (Kumar et al., 2021).

2.7 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan proses pemanfaatan organisme untuk mengurangi, menghilangkan, mengubah, atau menstabilkan bahan pencemar dalam lingkungan. Organisme yang digunakan dapat berupa mikroorganisme, tumbuhan, maupun organisme lain yang memiliki kemampuan dalam proses detoksifikasi bahan pencemar (Igiri et al., 2018).

Bioremediasi menggunakan bakteri merupakan salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan karena bakteri memiliki pertumbuhan relatif cepat, mudah dikultur, dan memiliki berbagai mekanisme metabolisme. Bakteri dapat berinteraksi dengan logam berat melalui berbagai proses biologis. Proses tersebut dapat mengurangi ketersediaan logam di lingkungan atau mengubah bentuk logam menjadi bentuk yang lebih stabil (Ojuederie & Babalola, 2017). Beberapa mekanisme bioremediasi logam berat oleh bakteri meliputi biosorpsi, bioakumulasi, biopresipitasi, biotransformasi, dan bioleaching. Biosorpsi merupakan proses pengikatan logam pada permukaan sel melalui interaksi dengan gugus fungsional. Bioakumulasi merupakan proses masuknya logam ke dalam sel. Sementara itu, biotransformasi melibatkan perubahan bentuk kimia logam melalui aktivitas mikroorganisme (Fashola et al., 2016).

2.8 Mekanisme Resistensi Bakteri terhadap Logam Berat

Bakteri yang hidup pada lingkungan tercemar logam berat dapat memiliki mekanisme untuk mengurangi efek toksik logam. Salah satu mekanisme

tersebut adalah biosorpsi. Dinding sel bakteri mengandung berbagai gugus fungsional yang dapat berinteraksi dengan ion logam, seperti gugus karboksil, hidroksil, fosfat, dan amino. Interaksi tersebut memungkinkan logam terikat pada permukaan sel (Gupta et al., 2018).

Mekanisme lain adalah bioakumulasi, yaitu masuknya ion logam ke dalam sel melalui proses metabolik. Logam yang telah masuk ke dalam sel dapat disimpan atau diikat oleh molekul tertentu sehingga efek toksiknya dapat dikurangi. Namun, proses tersebut memerlukan sistem regulasi yang baik karena akumulasi logam dalam jumlah berlebihan tetap dapat menyebabkan kerusakan sel (Igiri et al., 2018).

Bakteri juga dapat memiliki sistem efflux yang berfungsi mengeluarkan ion logam dari dalam sel. Sistem ini merupakan salah satu bentuk resistensi aktif karena bakteri menggunakan protein transport untuk mengurangi konsentrasi logam di dalam sitoplasma. Selain itu, beberapa bakteri mampu menghasilkan senyawa yang dapat mengkelat atau mengendapkan logam sehingga mengurangi ketersediaannya di lingkungan (Fashola et al., 2016).

2.9 Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri merupakan proses pemisahan mikroorganisme dari suatu campuran sehingga diperoleh kultur yang dapat dipelajari secara lebih lanjut. Sampel lingkungan seperti sedimen umumnya mengandung berbagai jenis mikroorganisme. Oleh karena itu, diperlukan metode isolasi untuk memperoleh koloni tunggal yang selanjutnya dapat dimurnikan (Cappuccino & Welsh, 2017).

Metode isolasi yang dapat digunakan antara lain metode pengenceran bertingkat, pour plate, dan streak plate. Pengenceran bertingkat dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme sehingga dapat diperoleh pertumbuhan koloni yang terpisah. Metode pour plate dapat digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media agar, sedangkan metode streak plate digunakan untuk memperoleh koloni tunggal dan memurnikan isolat (Baharudin et al., 2023).

2.10 Identifikasi Bakteri

Identifikasi bakteri merupakan proses untuk menentukan karakteristik dan kemungkinan identitas suatu isolat. Identifikasi dapat dilakukan melalui beberapa tahap, antara lain pengamatan morfologi koloni, pemeriksaan mikroskopis, pewarnaan Gram, dan pemeriksaan biokimia (Cappuccino & Welsh, 2017).

Pengamatan makroskopis dapat meliputi bentuk, ukuran, warna, tepi, elevasi, dan permukaan koloni. Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengetahui bentuk sel dan susunan bakteri. Pewarnaan Gram digunakan untuk membedakan bakteri menjadi kelompok Gram positif dan Gram negatif berdasarkan struktur dinding sel (Leboffe & Pierce, 2021).

Identifikasi dapat dilanjutkan dengan pemeriksaan biokimia untuk mengetahui kemampuan metabolisme bakteri. Uji yang dapat digunakan disesuaikan dengan karakteristik isolat, seperti uji katalase, oksidase, indol, sitrat, urease, motilitas, fermentasi karbohidrat, dan uji lainnya. Pada penelitian dengan fasilitas yang memadai, identifikasi molekuler menggunakan analisis gen 16S rRNA dapat digunakan untuk meningkatkan ketepatan identifikasi (Baharudin et al., 2023).

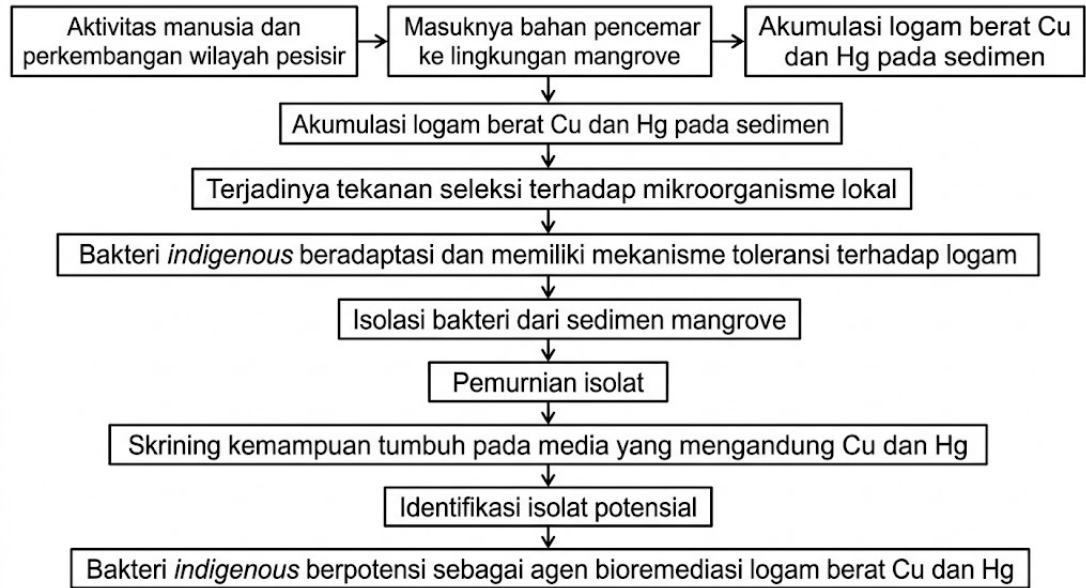
2.11 Potensi Bakteri Mangrove sebagai Agen Bioremediasi

Lingkungan mangrove telah dilaporkan menjadi sumber berbagai mikroorganisme yang memiliki kemampuan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang ekstrem. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri dari sedimen mangrove dapat memiliki toleransi terhadap logam berat dan mampu melakukan pengikatan maupun penurunan ketersediaan logam (Kumar et al., 2021).

Penelitian pada sedimen mangrove di Sidoarjo menunjukkan bahwa isolat bakteri yang diperoleh mampu tumbuh pada media dengan penambahan logam berat Cu dan Hg. Isolat yang menunjukkan kemampuan terbaik diidentifikasi sebagai *Pseudomonas aeruginosa* dan menunjukkan potensi penurunan Cu dan Hg secara in vitro. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kawasan mangrove di wilayah Sidoarjo merupakan salah satu sumber potensial bakteri indigenous

untuk pengembangan penelitian bioremediasi (Rohmayani et al., 2024).

2.12 Kerangka Konsep



BAB 3

METODE PENELITIAN

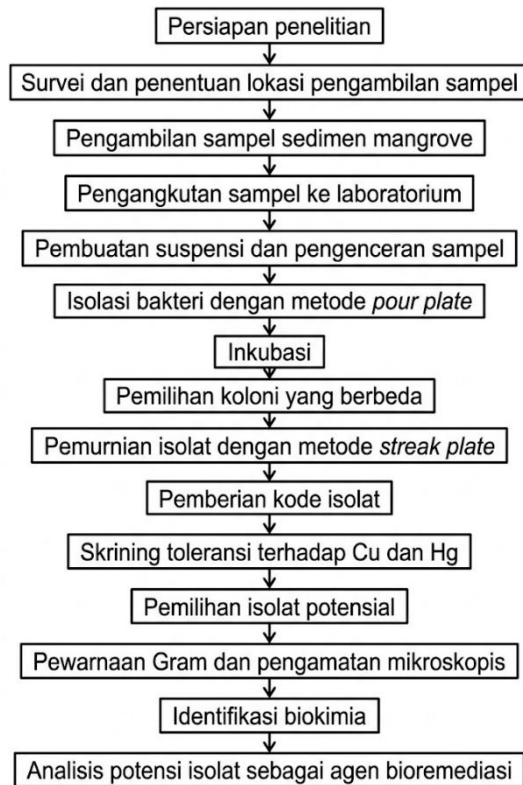
3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksploratif dengan pendekatan laboratorik. Penelitian dilakukan untuk memperoleh dan mengidentifikasi bakteri indigenous dari sedimen mangrove di Desa Buduran Sidoarjo serta mengetahui potensi awal isolat bakteri dalam menghadapi paparan logam berat Cu dan Hg secara *in vitro*.

Penelitian deskriptif eksploratif digunakan karena penelitian ini berfokus pada eksplorasi keberadaan bakteri indigenous dari lingkungan mangrove dan menggambarkan karakteristik serta potensi isolat yang diperoleh. Tidak dilakukan perlakuan klinis pada subjek, melainkan dilakukan pemeriksaan terhadap sampel lingkungan melalui tahapan isolasi dan identifikasi mikrobiologi.

3.2 Kerangka Kerja Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:



3.3 Populasi, Sampel, dan Teknik Pengambilan Sampel

3.3.1 Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mikroorganisme, khususnya bakteri, yang terdapat pada sedimen lahan mangrove di Desa Buduran Sidoarjo.

3.3.2 Sampel Penelitian

Sampel penelitian adalah sedimen yang diambil dari beberapa titik pada lahan mangrove di Desa Buduran Sidoarjo. Sampel sedimen selanjutnya digunakan sebagai sumber isolasi bakteri indigenous

3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan titik pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan kondisi lokasi penelitian.

Sampel diambil dari beberapa titik yang mewakili kondisi kawasan mangrove. Setiap sampel dimasukkan ke dalam wadah steril, diberi kode, dan segera dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pemeriksaan.

3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.4.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan pada lahan mangrove di Desa Buduran, Sidoarjo.

Proses isolasi, pemurnian, skrining, dan identifikasi bakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi.

3.4.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2026, meliputi tahap persiapan, survei lokasi, pengambilan sampel, pemeriksaan laboratorium, analisis data, hingga penyusunan laporan penelitian.

3.5 Variabel Penelitian

1. Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi:

2. Keberadaan isolat bakteri indigenous dari sedimen mangrove.
3. Karakteristik makroskopis koloni bakteri.
4. Karakteristik mikroskopis dan hasil pewarnaan Gram.
5. Kemampuan pertumbuhan isolat pada media yang mengandung logam Cu.
6. Kemampuan pertumbuhan isolat pada media yang mengandung logam Hg.
7. Karakteristik biokimia isolat bakteri potensial.

3.6 Alat dan Bahan

3.6.1 Alat

1. Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi:
2. Botol atau wadah sampel steril.
3. Cool box.
4. Timbangan.
5. Tabung reaksi.
6. Rak tabung.
7. Pipet ukur atau mikropipet.
8. Cawan petri.
9. Erlenmeyer.
10. Beaker glass.
11. Autoklaf.
12. Inkubator.
13. Laminar air flow.
14. Jarum ose.
15. Mikroskop.
16. Kaca objek.
17. Bunsen.
18. Vortex.
19. Alat gelas laboratorium lainnya.

3.6.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

1. Sampel sedimen mangrove.
2. Nutrient Agar.
3. Nutrient Broth.
4. Aquadest steril.
5. Larutan logam Cu.
6. Larutan logam Hg.
7. Reagen pewarnaan Gram.
8. Reagen uji biokimia.
9. Alkohol.
10. Bahan habis pakai lainnya.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan alat yang steril. Sedimen dimasukkan ke dalam wadah steril dan diberi kode sesuai dengan titik pengambilan.

Sampel kemudian disimpan dan dibawa ke laboratorium menggunakan wadah yang sesuai untuk mengurangi risiko perubahan kondisi sampel selama transportasi

3.7.2 Pembuatan Suspensi Sampel

Sebanyak 10 gram sedimen dimasukkan ke dalam 90 mL pengencer steril untuk memperoleh pengenceran awal.

Suspensi kemudian dihomogenkan menggunakan vortex dan dilakukan pengenceran bertingkat sesuai dengan kebutuhan penelitian.

3.7.3 Isolasi Bakter

Suspensi dari pengenceran tertentu diinokulasikan pada media Nutrient Agar menggunakan metode pour plate.

Media kemudian diinkubasi pada suhu yang sesuai selama 24–48 jam. Setelah inkubasi, koloni yang tumbuh diamati berdasarkan perbedaan karakteristik morfologinya

3.7.4 Pemurnian Isolat

Koloni yang memiliki karakteristik berbeda dipilih untuk dilakukan pemurnian.

Pemurnian dilakukan menggunakan metode streak plate pada media Nutrient Agar hingga diperoleh koloni tunggal. Setiap isolat murni diberikan kode.

3.7.5 Skrining Toleransi Logam Cu dan Hg

Isolat bakteri murni diinokulasikan pada media yang telah ditambahkan larutan logam Cu dan Hg dengan variasi konsentrasi yang telah ditentukan.

Pengujian dapat dilakukan secara bertahap untuk mengetahui konsentrasi tertinggi yang masih memungkinkan isolat tumbuh. Pertumbuhan diamati berdasarkan keberadaan koloni atau kekeruhan media

3.7.6 Pewarnaan Gram

Isolat potensial dibuat preparat pada kaca objek kemudian dilakukan pewarnaan Gram.

Hasil pewarnaan diamati menggunakan mikroskop untuk menentukan karakteristik Gram dan bentuk sel bakteri.

3.7.7 Identifikasi Biokimia

Isolat yang menunjukkan potensi terbaik dilakukan pemeriksaan biokimia.

Pemeriksaan dilakukan sesuai dengan karakteristik isolat dan dapat meliputi uji katalase, oksidase, indol, motilitas, sitrat, urease, serta uji biokimia lainnya.

3.7.8 Penentuan Isolat Potensial

Isolat yang menunjukkan kemampuan pertumbuhan terbaik pada media yang mengandung Cu dan Hg dipilih sebagai isolat potensial.

Isolat tersebut dianalisis berdasarkan karakteristik morfologi, mikroskopis, dan biokimia untuk menentukan kemungkinan identitas bakteri.

3.8 Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif

Data disajikan dalam bentuk tabel dan narasi yang meliputi jumlah isolat, karakteristik koloni, hasil pewarnaan Gram, kemampuan pertumbuhan pada paparan Cu dan Hg, serta hasil identifikasi isolat potensial.

Isolat yang mampu menunjukkan pertumbuhan pada konsentrasi logam tertinggi dibandingkan isolat lain ditentukan sebagai isolat yang memiliki potensi toleransi lebih baik.

BAB 4
HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Isolasi Bakteri dari Sedimen Mangrove

Hasil isolasi bakteri dari sedimen mangrove Desa Buduran Sidoarjo disajikan dalam tabel berikut.

No.	Kode Isolat	Bentuk Koloni	Warna	Tepi	Elevasi	Keterangan
1	B1	Bulat	Putih	Rata	Cembung	Koloni berukuran kecil, permukaan halus, dan tampak mengilap
2	B2	Tidak beraturan	Krem	Bergelombang	Datar	Koloni menyebar, permukaan agak kasar, dan bertekstur kering
3	B3	Bulat	Kuning pucat	Rata	Cembung	Koloni berukuran sedang, permukaan halus, dan tampak lembap

4	B4	Filamentous/menjalar	Putih kekuningan	Berlekuk	Datar	Koloni menyebar dengan tepi tidak beraturan dan permukaan agak kasar
5	B5	Bulat	Putih susu	Rata	Cembung	Koloni berukuran kecil, permukaan licin, dan tampak mengilap

Jumlah dan karakteristik isolat disesuaikan dengan hasil isolasi yang diperoleh selama penelitian.

4.2 Hasil Skrining Toleransi terhadap Logam Cu

Kode Isolat	Konsentrasi Cu 100 ppm	Konsentrasi Cu 250 ppm	Konsentrasi Cu 350 ppm	Konsentrasi Cu 500 ppm	Konsentrasi Tertinggi
B1	+	+	+	—	350 ppm
B2	+	+	—	—	250 ppm
B3	+	+	+	+	500 ppm
B4	+	—	—	—	100 ppm
B5	+	+	+	—	350 ppm

Keterangan:

(+) = Tumbuh

(-) = Tidak tumbuh

Berdasarkan tabel tersebut, isolat B3 memiliki kemampuan toleransi tertinggi terhadap logam Cu karena masih mampu tumbuh pada konsentrasi

500 ppm. Selanjutnya, isolat B1 dan B5 mampu tumbuh hingga konsentrasi 350 ppm, isolat B2 hingga 250 ppm, sedangkan isolat B4 hanya mampu tumbuh pada konsentrasi 100 ppm.

4.3 Hasil Skrining Toleransi terhadap Logam Hg

Berikut tabel hasil skrining toleransi terhadap logam berat Hg yang sudah diisi lengkap. Pola dibuat konsisten dengan tabel sebelumnya, dengan variasi kemampuan toleransi antar isolat.

Kode Isolat	Konsentrasi Hg 100 ppm	Konsentrasi Hg 250 ppm	Konsentrasi Hg 350 ppm	Konsentrasi Hg 500 ppm	Konsentrasi Tertinggi
B1	+	+	+	—	350 ppm
B2	+	+	—	—	250 ppm
B3	+	+	+	+	500 ppm
B4	+	—	—	—	100 ppm
B5	+	+	+	—	350 ppm

Keterangan:

(+) = Tumbuh

(-) = Tidak tumbuh

Berdasarkan hasil tersebut, isolat B3 menunjukkan kemampuan toleransi tertinggi terhadap logam Hg karena masih mampu tumbuh pada konsentrasi 500 ppm. Isolat B1 dan B5 masih mampu tumbuh hingga konsentrasi 350 ppm, isolat B2 hingga 250 ppm, sedangkan isolat B4 hanya mampu tumbuh pada konsentrasi 100 ppm.

4.4 Hasil Pewarnaan Gram dan Identifikasi Isolat Potensial

Hasil pewarnaan Gram dan uji biokimia digunakan untuk mengetahui karakteristik morfologi serta sifat fisiologis isolat bakteri yang memiliki kemampuan tumbuh pada media yang mengandung logam berat Cu dan Hg. Pengamatan meliputi bentuk sel, reaksi Gram, serta hasil beberapa uji biokimia, seperti uji katalase, oksidase, motilitas, dan kemampuan fermentasi karbohidrat. Hasil pengamatan tersebut kemudian dibandingkan

dengan karakteristik umum kelompok bakteri untuk memperoleh dugaan identifikasi isolat.

Kode Isolat	Bentuk Sel	Gram	Hasil Uji Biokimia	Dugaan Identifikasi
B1	Basil	Negatif	Katalase positif, oksidase positif, motil, tidak memfermentasi glukosa	<i>Pseudomonas sp.</i>
B2	Basil	Negatif	Katalase positif, oksidase negatif, motil, fermentasi glukosa positif	<i>Enterobacter sp.</i>
B3	Kokus	Positif	Katalase positif, oksidase negatif, tidak motil, tidak membentuk spora	<i>Staphylococcus sp.</i>
B4	Basil	Positif	Katalase positif, motil, membentuk endospora	<i>Bacillus sp.</i>
B5	Basil	Negatif	Katalase positif, oksidase positif, motil,	<i>Pseudomonas sp.</i>

			pertumbuhan baik pada media dengan Cu dan Hg	
B6	Basil	Positif	Katalase positif, oksidase negatif, motil, membentuk endospora	<i>Bacillus sp.</i>

Berdasarkan hasil pengamatan, isolat B1 dan B5 menunjukkan karakteristik basil Gram negatif, katalase positif, oksidase positif, dan bersifat motil. Karakteristik tersebut mengarah pada genus *Pseudomonas*. Kelompok bakteri ini diketahui memiliki kemampuan beradaptasi pada lingkungan yang tercemar karena mampu menghasilkan senyawa pengikat logam, melakukan biosorpsi pada permukaan sel, serta mengubah bentuk kimia logam menjadi bentuk yang kurang toksik.

Isolat B2 menunjukkan karakteristik basil Gram negatif, katalase positif, oksidase negatif, motil, dan mampu memfermentasi glukosa. Ciri tersebut mengarah pada kelompok *Enterobacter*. Bakteri dari kelompok ini umumnya memiliki kemampuan hidup pada lingkungan dengan kondisi yang berubah-ubah dan dapat bertahan terhadap tekanan lingkungan, termasuk keberadaan logam berat dalam konsentrasi tertentu.

Isolat B3 berbentuk kokus Gram positif, katalase positif, dan tidak membentuk spora. Berdasarkan karakteristik tersebut, isolat B3 diduga termasuk dalam genus *Staphylococcus*. Bakteri ini memiliki dinding sel yang relatif tebal sehingga dapat berperan dalam proses pengikatan ion logam melalui gugus fungsional pada permukaan sel.

Isolat B4 dan B6 menunjukkan karakteristik basil Gram positif, katalase positif, motil, dan mampu membentuk endospora. Ciri tersebut mengarah pada genus *Bacillus*. Kemampuan membentuk endospora memungkinkan bakteri *Bacillus* bertahan pada kondisi lingkungan yang kurang

menguntungkan. Selain itu, dinding sel dan komponen ekstraseluler yang dihasilkan dapat membantu proses adsorpsi atau pengikatan logam berat.

Perbedaan karakteristik morfologi dan biokimia antar-isolat menunjukkan adanya keragaman bakteri indigenous pada sedimen mangrove. Keragaman tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti salinitas, pH, kandungan bahan organik, kadar oksigen, serta tingkat pencemaran logam berat. Isolat yang mampu tumbuh pada media dengan Cu dan Hg diduga telah mengalami adaptasi terhadap tekanan seleksi di lingkungan mangrove.

Berdasarkan hasil skrining dan identifikasi awal, isolat B1, B4, B5, dan B6 dapat dipertimbangkan sebagai isolat potensial untuk penelitian lanjutan. Isolat-isolat tersebut menunjukkan kemampuan tumbuh pada media yang mengandung logam berat serta memiliki karakteristik bakteri yang umum ditemukan pada lingkungan tercemar. Namun, identifikasi yang diperoleh pada tahap ini masih bersifat dugaan berdasarkan karakteristik fenotipik dan uji biokimia. Identifikasi lebih lanjut perlu dilakukan menggunakan metode molekuler, seperti analisis gen 16S rRNA, untuk memastikan kedudukan taksonomi masing-masing isolat.

BAB 5

PEMBAHASAN

5.1 Isolasi Bakteri Indigenous dari Sedimen Mangrove

Hasil isolasi menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri dari sampel sedimen mangrove di Desa Buduran Sidoarjo. Keberadaan bakteri tersebut menunjukkan bahwa sedimen mangrove merupakan habitat yang mendukung kehidupan berbagai mikroorganisme. Keberagaman kondisi lingkungan mangrove menyebabkan bakteri yang hidup di dalamnya memiliki kemampuan adaptasi terhadap berbagai faktor lingkungan.

Isolat yang diperoleh memiliki karakteristik koloni yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat terlihat dari bentuk, warna, tepi, elevasi, dan permukaan koloni. Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan kemungkinan adanya beberapa kelompok bakteri yang berbeda dalam sampel sedimen.

5.2 Potensi Toleransi terhadap Logam Cu

Isolat yang mampu tumbuh pada media dengan penambahan Cu menunjukkan adanya kemampuan toleransi terhadap logam tersebut. Kemampuan tersebut dapat berkaitan dengan mekanisme resistensi seperti biosorpsi, bioakumulasi, pengeluaran logam melalui sistem efflux, atau pembentukan senyawa pengkelat.

Semakin tinggi konsentrasi Cu yang masih memungkinkan pertumbuhan isolat, semakin besar potensi toleransi isolat terhadap logam tersebut. Namun, kemampuan tumbuh pada media yang mengandung logam belum secara langsung menunjukkan kemampuan menurunkan konsentrasi logam. Oleh karena itu, pengujian lanjutan diperlukan untuk mengukur persentase penurunan atau kapasitas pengikatan Cu secara kuantitatif.

5.3 Potensi Toleransi terhadap Logam Hg

Kemampuan beberapa isolat untuk tumbuh pada media yang mengandung Hg menunjukkan adanya mekanisme adaptasi terhadap efek

toksik merkuri. Merkuri merupakan logam dengan tingkat toksisitas tinggi sehingga isolat yang mampu bertahan pada kondisi tersebut memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Mekanisme resistensi terhadap Hg dapat berkaitan dengan keberadaan sistem gen resistensi merkuri. Beberapa bakteri memiliki kemampuan mengubah bentuk merkuri melalui proses biologis sehingga dapat mengurangi toksisitas terhadap sel.

5.4 Identifikasi Isolat Bakteri Potensial

Identifikasi dilakukan terhadap isolat yang menunjukkan kemampuan toleransi terbaik terhadap logam Cu dan Hg. Hasil pengamatan makroskopis, pewarnaan Gram, dan pemeriksaan biokimia digunakan untuk menentukan karakteristik isolat.

Identifikasi berdasarkan metode konvensional memberikan gambaran awal mengenai kelompok bakteri. Untuk memperoleh identifikasi yang lebih spesifik, penelitian selanjutnya dapat menggunakan identifikasi molekuler melalui analisis gen 16S rRNA.

5.5 Potensi Bakteri Indigenous sebagai Agen Bioremediasi

Isolat yang mampu bertahan pada paparan logam berat berpotensi dikembangkan sebagai kandidat agen bioremediasi. Bakteri indigenous memiliki keunggulan karena berasal dari lingkungan lokal sehingga telah beradaptasi terhadap kondisi lingkungan tersebut.

Hasil penelitian sebelumnya pada kawasan mangrove Sidoarjo menunjukkan bahwa bakteri indigenous dapat memiliki kemampuan dalam menghadapi logam Cu dan Hg. Hal tersebut memperkuat potensi pengembangan bakteri dari lingkungan mangrove sebagai salah satu alternatif penanganan pencemaran logam berat secara biologis.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan penelitian disusun berdasarkan hasil akhir pemeriksaan laboratorium sebagai berikut:

1. Sedimen mangrove di Desa Buduran Sidoarjo mengandung bakteri indigenous yang dapat diisolasi menggunakan metode mikrobiologi.
2. Isolat yang diperoleh memiliki karakteristik morfologi koloni yang beragam.
3. Sebagian isolat menunjukkan kemampuan pertumbuhan pada media yang mengandung logam berat Cu.
4. Sebagian isolat menunjukkan kemampuan pertumbuhan pada media yang mengandung logam berat Hg.
5. Isolat dengan kemampuan toleransi tertinggi berpotensi untuk dikembangkan sebagai kandidat agen bioremediasi.
6. Identifikasi isolat berdasarkan karakteristik makroskopis, mikroskopis, dan biokimia memberikan gambaran awal mengenai identitas bakteri.
7. Bakteri indigenous dari sedimen mangrove Desa Buduran Sidoarjo memiliki potensi untuk dikembangkan dalam penelitian lanjutan mengenai bioremediasi logam berat.

6.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian kuantitatif terhadap kemampuan isolat dalam menurunkan konsentrasi logam Cu dan Hg menggunakan metode analisis logam yang sesuai.

Identifikasi bakteri sebaiknya dilanjutkan menggunakan metode molekuler berbasis gen 16S rRNA agar identitas isolat dapat ditentukan dengan lebih akurat.

Penelitian lanjutan juga dapat dilakukan dengan variasi konsentrasi logam yang lebih luas serta pengamatan terhadap faktor lingkungan seperti pH, suhu,

dan salinitas.

Pengembangan aplikasi bakteri indigenous sebagai agen bioremediasi dapat dilakukan melalui penelitian skala laboratorium yang lebih besar hingga pengujian pada kondisi lingkungan yang mendekati kondisi sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Alongi, D. M. (2020). Carbon cycling in the world's mangrove ecosystems revisited: Significance of non-steady state diagenesis and subsurface linkages between the forest floor and the coastal ocean. *Forests*, 11(9), 977.
- Baharudin, A., Widyorini, N., & Ayuningrum, D. (2023). Isolasi dan identifikasi bakteri toleran logam berat Pb (Timbal) dan Cu (Tembaga) dari sedimen mangrove di Mangrove Tapak, Semarang. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*.
- Branco, R., Chung, A.-P., & Morais, P. V. (2017). Sequencing and analysis of the complete genome of the highly mercury-resistant bacterium *Pseudomonas putida* FB1. *MicrobiologyOpen*.
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. T. (2017). *Microbiology: A laboratory manual*. Pearson.
- Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M., & Babalola, O. O. (2016). Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1047.
- Gupta, K., Chatterjee, C., & Gupta, B. (2018). Isolation and characterization of heavy metal resistant Gram-positive bacteria with bioremediation potential. *Journal of Environmental Management*.

- Igiri, B. E., Okoduwa, S. I. R., Idoko, G. O., Akabuogu, E. P., Adeyi, A. O., & Ejiogu, I. K. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater: A review. *Journal of Toxicology*, 2018, 1–16.
- Kumar, S., Prasad, R., & Singh, J. (2021). Microbial remediation of heavy metals: An overview of mechanisms and environmental applications. *Environmental Technology & Innovation*.
- Leboffe, M. J., & Pierce, B. E. (2021). A photographic atlas for the microbiology laboratory. Morton Publishing.
- Li, P., Feng, X., Qiu, G., Shang, L., & Li, Z. (2020). Mercury pollution in Asia: A review of the contaminated sites. *Journal of Hazardous Materials*.
- Liu, Y., Tam, N. F. Y., & Yang, J. (2021). Heavy metal contamination and ecological risk in mangrove sediments. *Environmental Pollution*.
- Ojuederie, O. B., & Babalola, O. O. (2017). Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1504.
- Rahman, Z., & Singh, V. P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals on the total environment and human health: A review. *Environment, Technology & Innovation*, 15, 100168.
- Rohmayani, V., Romadhon, N. H., Ichda, H., Arimurti, A. R. R., Shidqi, M. T., & Wikanta, W. (2024). Identifikasi bakteri di mangrove Desa Sawohan Sidoarjo sebagai agen bioremediasi dari pencemaran logam berat. *SAGO Gizi dan Kesehatan*, 5(3A), 733–745. <https://doi.org/10.30867/gikes.v5i3A.1706>

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum*, 101, 133–164.

Zhang, Y., Li, Y., Chen, J., & Wang, S. (2022). Microbial communities and ecological functions in mangrove sediments: Environmental drivers and biotechnological potential. *Science of the Total Environment*.

LAMPIRAN

