

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri penyamakan kulit di Indonesia, khususnya di daerah Sukaregang, Kabupaten Garut, telah berkembang pesat dan menjadi pusat produksi bahan kulit siap pakai. Namun, pertumbuhan industri ini turut menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, mencapai sekitar 90.000 liter per bulan, dengan 99% pelaku usaha belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai (Fachria *et al.*, 2019). Air limbah yang tidak dikelola ini langsung dibuang ke Sungai Ciwalen yang merupakan anak Sungai Cimanuk dan mengandung berbagai senyawa kimia berbahaya, terutama logam berat seperti kromium (Senania & Yanti, 2022).

Kromium (Cr) yang terkandung dalam limbah penyamakan berasal dari penggunaan bahan kimia seperti Chromosal B, yang digunakan untuk mempercepat proses penyamakan kulit. Secara umum, proses penyamakan dimulai dari pembersihan kulit mentah melalui perendaman, pengapuran, dan penghilangan rambut, dilanjutkan dengan proses pengasaman (*pickling*) untuk mempersiapkan serat kolagen pada kulit agar dapat bereaksi dengan larutan penyamak. Selanjutnya, larutan penyamak yang mengandung krom, seperti Chromosal B, bereaksi dengan serat kolagen membentuk ikatan kimia yang membuat struktur kulit menjadi lebih stabil, awet, lentur, dan tahan terhadap pembusukan (Oruko *et al.*, 2020). Meskipun senyawa ini meningkatkan kualitas produk akhir, residunya berdampak serius terhadap lingkungan. Kromium dalam limbah hadir dalam dua bentuk utama, yaitu Cr(III) dan Cr(VI). Cr(III) memiliki peran biologis dalam jumlah kecil, tetapi dalam kondisi basa dapat teroksidasi menjadi Cr(VI), bentuk yang sangat toksik, bersifat karsinogenik, dan berpotensi merusak sistem pernapasan, hati, dan ginjal pada manusia (Shanker *et al.*, 2005; Den Braver-Sewradj *et al.*, 2021). Selain itu, kromium berdampak negatif terhadap tumbuhan dengan menghambat perkecambahan biji, mengganggu keseimbangan nutrisi, serta menimbulkan stres oksidatif (Kapoor *et al.*, 2022).

Sebagai alternatif dari metode fisikokimia yang mahal dan sering menimbulkan limbah sekunder, bioremediasi muncul sebagai pendekatan

berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk menangani pencemaran logam berat. Bioremediasi adalah proses penggunaan organisme hidup seperti bakteri, jamur, atau tumbuhan untuk mendetoksifikasi atau mengubah senyawa beracun menjadi bentuk yang lebih tidak berbahaya (Das *et al.*, 2011). Teknik ini terbagi menjadi dua, yaitu *in situ* (di lokasi pencemaran) dan *ex situ* (di luar lokasi pencemaran), serta dapat dilakukan melalui pendekatan biodegradasi, bioaugmentasi, dan biostimulasi (Wu *et al.*, 2022). Bioremediasi logam berat secara khusus sangat mengandalkan mikroorganisme karena mereka memiliki kemampuan untuk melakukan adsorpsi, akumulasi, dan reduksi logam melalui mekanisme enzimatik (Ghosh *et al.*, 2019; Pande *et al.*, 2022).

Mikroorganisme yang umum digunakan dalam bioremediasi kromium banyak berasal dari tanah rizosfer, yakni zona yang kaya mikroba karena pengaruh eksudat akar tanaman. Mikroba rizosfer seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* dikenal memiliki resistensi tinggi terhadap logam berat dan mampu melakukan biosorpsi serta reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) (Desai *et al.*, 2008; Riseh *et al.*, 2023). Selain itu, mereka juga dapat menghasilkan metabolit sekunder dan eksopolisakarida yang membantu mengurangi mobilitas logam, menjadikan logam tersebut lebih stabil dan tidak beracun (Sharma *et al.*, 2021; Husna *et al.*, 2023).

Identifikasi mikroorganisme untuk keperluan bioremediasi secara akurat menjadi langkah penting dalam penelitian ini. Gen 16S rRNA digunakan sebagai penanda molekuler utama dalam taksonomi bakteri karena memiliki daerah konservatif dan *hypervariable* yang memungkinkan identifikasi hingga tingkat spesies (Chakravorty *et al.*, 2007). Teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*) memungkinkan amplifikasi gen ini dengan sensitivitas tinggi dan presisi yang lebih baik dibandingkan uji biokimia konvensional (Weisburg *et al.*, 1991). Hal ini penting untuk merumuskan konsorsium bakteri dengan kemampuan bioremediasi yang spesifik dan optimal.

Penelitian sebelumnya oleh Aziema (2024) telah mengeksplorasi potensi bakteri rizosfer dalam remediasi logam krom dan mengidentifikasi lima genus utama, yakni *Pseudomonas*, *Citrobacter*, *Bacillus*, *Azotobacter*, dan *Micrococcus*. Namun, pendekatan yang digunakan masih terbatas pada uji biokimia, sehingga tidak sampai pada tingkat spesies. Padahal, dalam bioremediasi, spesifikasi

taksonomi hingga level spesies sangat penting karena tiap spesies memiliki kemampuan dan strategi metabolik yang berbeda dalam merespons logam berat. Oleh karena itu, identifikasi berbasis gen 16S rRNA menjadi kebutuhan mendesak untuk mengisi celah tersebut.

Lebih dari sekadar identifikasi, urgensi penelitian ini juga didasarkan pada pentingnya formulasi konsorsium bakteri spesifik yang mampu bekerja secara sinergis dalam menurunkan kadar kromium. Penelitian-penelitian sebelumnya banyak menggunakan isolat tunggal atau konsorsium tanpa evaluasi interaksi spesifik antar anggotanya. Padahal, konsorsium yang terdiri dari spesies bakteri dengan fungsi saling melengkapi—misalnya biosorpsi, bioakumulasi, dan reduksi enzimatis—terbukti lebih efektif dalam proses bioremediasi logam berat (Pal & Paul, 2008; Ghosh *et al.*, 2019). Penggabungan *Bacillus licheniformis*, *Bacillus paralicheniformis*, dan *Brevibacillus borstelensis* dalam satu formula konsorsium menjadi upaya strategis untuk mengoptimalkan kemampuan remediasi melalui interaksi biologis yang saling mendukung, terutama dalam kondisi *in vitro* yang mensimulasikan lingkungan tercemar.

Selain itu, belum banyak penelitian yang menguji efektivitas kombinasi bakteri terkarakterisasi secara molekuler dalam konteks bioremediasi *in vitro* pada limbah kromium dari industri penyamakan kulit. Evaluasi *in vitro* diperlukan untuk menilai langsung performa kombinasi bakteri dalam mereduksi kromium sebelum diaplikasikan lebih lanjut di lapangan (Wu *et al.*, 2022; Pande *et al.*, 2022). Dalam konteks lokal, seperti di Sukaregang, pendekatan ini relevan karena Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dibangun pemerintah tidak dapat dioperasikan akibat keterbatasan sumber daya dan biaya (Fachria *et al.*, 2019). Oleh sebab itu, solusi berbasis mikroba lokal yang adaptif, murah, dan mudah dikembangkan menjadi pilihan yang lebih realistis dan berkelanjutan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memformulasikan kombinasi bakteri spesifik dari tanah rizosfer yang memiliki kemampuan tinggi dalam meremediasi logam kromium, serta menguji efektivitasnya dalam sistem *in vitro*. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan teknologi bioremediasi yang

efisien, aplikatif, dan kontekstual terhadap permasalahan pencemaran kromium di Indonesia, khususnya pada sektor industri penyamakan kulit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang muncul adalah “Kombinasi spesies bakteri resisten logam krom mana yang paling optimal untuk membentuk formula konsorsium sebagai agen bioremediasi limbah logam krom dari industri penyamakan kulit?”.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana karakteristik morfologi, biokimia, dan molekuler dari bakteri resisten logam krom yang diisolasi dari tanah tercemar?
2. Berapa efisiensi bioremoval logam krom oleh kombinasi konsorsium bakteri yang paling optimal selama proses remediasi?
3. Kombinasi spesies bakteri mana yang memberikan efisiensi bioremediasi paling tinggi terhadap logam krom?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kombinasi formula konsorsium bakteri *Bacillus licheniformis*, *Bacillus paralicheniformis*, dan *Brevibacillus borstelensis* dalam bioremediasi logam kromium secara *in vitro*.

1.5 Batasan Penelitian

1. Isolat bakteri yang digunakan hanya yang memiliki resistensi dan tingkat pertumbuhan tertinggi terhadap logam krom
2. Uji bioremediasi dilakukan secara *in vitro* dalam skala laboratorium dengan fokus penelitian penggunaan kultur bakteri
3. Identifikasi spesies bakteri dengan menggunakan gen 16S rRNA
4. Uji bioremoval dilakukan untuk melihat potensi konsorsium bakteri dalam bioremediasi logam krom

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini diantaranya:

1. Memberikan wawasan baru mengenai kombinasi spesies bakteri yang paling optimal untuk digunakan sebagai agen bioremediasi logam krom.
2. Menjadi referensi dalam perancangan konsorsium bakteri yang efektif untuk bioremediasi logam krom.

3. Mendorong pengembangan produk bioteknologi yang dapat diaplikasikan dalam pengolahan limbah industri maupun lingkungan yang terkontaminasi.