

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kerajinan kulit memainkan salah satu peran penting dalam perekonomian di Indonesia. Daerah Sukaregang, Kabupaten Garut merupakan pusat industri kerajinan kulit terkemuka yang menghasilkan produk berkualitas tinggi dan telah dikenal luas, baik di dalam maupun luar negeri. Hal ini menjadikannya salah satu pilar ekspor yang menguntungkan bagi Indonesia. Produk kerajinan kulit, seperti sepatu, tas, dan dompet, melewati serangkaian proses yang panjang sebelum akhirnya siap untuk dijual. Penyamakan kulit merupakan salah satu tahapan kunci dalam industri kerajinan kulit. Penyamakan kulit meliputi proses konversi protein kulit mentah yang berasal dari hewan (*skin*) secara kimia dan fisik menjadi kulit yang stabil, lembut, dan tidak mudah membusuk, sehingga dapat diolah lebih lanjut untuk berbagai produk kulit (*leather*) (Suparno, Covington, & Evans, 2008).

Sekitar 85-90% industri kerajinan kulit menggunakan bahan kimia senyawa kromium trivalen (Cr^{3+} atau Cr(III)) seperti kromium sulfat ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dalam proses penyamakannya (Krishnamoorthy *et al.*, 2013). Penggunaan kromium dalam penyamakan kulit tersebut umum disebut dengan metode *chrome tanning*. Kromium sulfat digunakan untuk membuat jaringan protein pada kulit menjadi stabil dan mengalami perubahan sifat baik secara fisik, kimia, maupun biologi (Kuncoro & Soedjono, 2022). Penyamakan kulit menggunakan kromium sulfat banyak digunakan karena prosesnya yang cepat, mudah, relatif lebih murah, serta menghasilkan produk kulit siap olah yang lembut, lentur, warna yang tahan lama, dan memiliki ketahanan termal yang tinggi (Ahmed & Maraz, 2022). Proses penyamakan kulit menghasilkan limbah cair yang melimpah. Limbah penyamakan kulit diketahui menghasilkan air limbah dalam jumlah besar dan menyebabkan polusi kromium yang parah di seluruh dunia (Yoshinaga *et al.*, 2018). Namun, sekitar 99% pengusaha industri kerajinan kulit di Sukaregang tidak memiliki metode pengolahan limbah industri yang memadai, sehingga air limbah dibuang langsung ke sungai (Fachria, Ramdan, & Aryantha, 2020). Hal tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat di sekitar industri kerajinan kulit.

Selain itu, kromium yang terbawa dalam air juga sangat berpotensi mencemari lingkungan jika tidak melalui tahap pengolahan terlebih dahulu.

Polusi kromium merupakan ancaman lingkungan yang signifikan dan dapat berdampak buruk terhadap sumber daya alam, terutama air dan tanah, serta menimbulkan efek toksik dan merugikan bagi kesehatan apabila terakumulasi pada jumlah yang tinggi pada manusia dan hewan akibat paparan yang berlebihan (Prasad *et al.*, 2021). Kromium diklasifikasikan sebagai karsinogen kelas A karena toksisitasnya yang tinggi (Sharma *et al.*, 2021). Cr(III) merupakan unsur hara esensial, tidak beracun, dan sulit diserap, tetapi dapat menyebabkan toksisitas dan karsinogenitas jangka panjang apabila terpapar melebihi nilai yang direkomendasikan (Tumolo *et al.*, 2020). Kromium heksavalen (Cr⁶⁺ atau Cr(VI)) dianggap sebagai bentuk kromium yang paling toksik karena memiliki potensi oksidasi tinggi, kelarutan yang besar, dan kemampuan untuk menembus membran organisme hidup serta lingkungan. Sebaliknya, Cr(III) dalam bentuk oksida, hidroksida, dan sulfat dianggap kurang toksik karena lebih sulit larut dalam air, memiliki mobilitas terbatas, dan biasanya terikat pada bahan organik di tanah maupun lingkungan perairan (Oliveira, 2012). Kondisi ini membuat Cr(III) kurang berisiko terhadap organisme hidup dibandingkan Cr(VI).

Sebagai salah satu komponen utama ekosistem, tanah berperan penting dalam menyediakan lingkungan bagi berbagai organisme. Setiap organisme dalam tanah memiliki peran dalam siklus biogeokimia di ekosistem, dekomposisi bahan organik, pembentukan humus, serta memengaruhi kesuburan tanah. Kromium merupakan salah satu unsur beracun yang merugikan segala bentuk kehidupan, termasuk tumbuhan, sehingga polusi kromium yang berlebihan di tanah dapat secara signifikan mengurangi hasil dan kualitas tanaman pertanian (Wani, Naeem, & Aftab, 2022). Pencemaran kromium pada tanah dapat diatasi dengan bioremediasi. Bioremediasi merupakan metode yang memanfaatkan proses atau aktivitas biologis dari organisme, baik mikroorganisme ataupun tumbuhan, yang memiliki kemampuan untuk menetralkan atau menghilangkan kromium dari lingkungan secara alami (Junior Letti *et al.*, 2018). Bioremediasi melibatkan proses mengurangi (menurunkan, mendetoksifikasi, memineralisasi, atau mengubah) konsentrasi polutan ke tingkat yang tidak berbahaya yang bergantung pada mekanisme biologis

(Azubuike, Chikere, & Okpokwasili, 2016). Bioremediasi merupakan pilihan yang umum digunakan untuk memulihkan lingkungan yang terkontaminasi karena lebih minim biaya, efektif, serta ramah lingkungan.

Mikroorganisme memiliki keunikan, sifat, dan kemampuan biosintetik yang sangat luas, menjadikan mikroorganisme sebagai kandidat untuk memecahkan berbagai masalah biologis maupun bidang lainnya. Pemanfaatan mikroorganisme asli yang terdapat di lingkungan (*indigenous microorganisms*), termasuk mikroorganisme dalam tanah, menyediakan cara yang efisien untuk menyelesaikan berbagai permasalahan lingkungan. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme *indigenous* memiliki potensi dalam remediiasi kromium pada tanah yang tercemar. Penelitian Su *et al.* (2018) menyatakan bahwa mikroorganisme *indigenous* berperan penting dalam reduksi Cr(VI) di tanah yang terkontaminasi sehingga berpotensi untuk digunakan dalam bioremediasi in-situ pada tanah yang terkontaminasi Cr(VI).

Mikroorganisme *indigenous* dapat ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk di area rhizosfer tanah yang tercemar kromium. Hiltner (1904) mendefinisikan rhizosfer sebagai area di sekitar akar tanaman yang menjadi habitat komunitas mikroorganisme dan mendapat pengaruh dari bahan kimia yang dikeluarkan oleh akar tanaman (McNear Jr., 2013). Mikroorganisme *indigenous* yang umumnya telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan, termasuk apabila lingkungan tersebut tercemar logam berat, sering kali memiliki kemampuan khusus untuk mengatasi pencemaran yang terjadi di sekitar akar tanaman. Berbagai mekanisme telah terlibat dalam adaptasi, toleransi, dan resistensi mikroorganisme terhadap polutan logam, di antaranya yaitu melalui presipitasi ekstraseluler, penurunan serapan (akibat sistem penghabisan (*efflux system*), penyumbatan serapan, ataupun keduanya), serta reduksi enzimatik menjadi bentuk yang kurang toksik (Kamaludeen *et al.*, 2003). Penelitian Alford, Pilon-Smits, & Paschke (2010) menunjukkan bahwa bakteri dan jamur rhizosfer hiperakumulator dapat menunjukkan peningkatan toleransi terhadap logam, merangsang pertumbuhan tanaman, dan berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi mikronutrien tanaman. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beberapa jenis rhizobakteri atau bakteri yang hidup di rhizosfer tanah mampu meremediasi kromium. Studi Anil

et al. (2021) mengungkapkan bahwa bakteri *Citrobacter* mempunyai kemampuan dalam menyerap dan mengubah logam Cr(VI) menjadi Cr(III). Selain itu, dalam penelitian Purwanti *et al.* (2017), bakteri *Azotobacter S8*, *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas putida* mempunyai kemampuan menyisihkan hingga 22,82% Cr(III) dari tanah.

Konsorsium bakteri diketahui memiliki potensi *bioremoval* logam berat, termasuk kromium, yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan isolat bakteri tunggal. Sebuah konsorsium bakteri adalah gabungan beberapa bakteri dalam suatu lingkungan yang berfungsi secara sinergis satu sama lain. Keberagaman mikroorganisme dalam konsorsium dapat memberikan sinergi dan kemampuan yang lebih luas dalam mengatasi variasi lingkungan dan polutan yang kompleks (Zhang & Zhang, 2022). Berbagai spesies bakteri dalam konsorsium dapat saling melengkapi, menghasilkan enzim atau senyawa yang mendukung proses *bioremoval*, serta meningkatkan daya tahan terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah (Cao *et al.*, 2022). Berdasarkan potensi tersebut, konsorsium rhizobakteri juga dinilai lebih efektif dalam mengurangi konsentrasi logam berat, seperti kromium, dalam lingkungan tertentu.

Permasalahan mengenai pencemaran logam berat dari industri penyamakan kulit merupakan isu berkepanjangan yang hingga saat ini belum terselesaikan sepenuhnya. Berangkat dari isu tersebut, penelusuran terhadap potensi bakteri dalam remediasi kromium sudah dilakukan melalui beragam penelitian. Namun, terdapat perbedaan pada sampel, parameter, dan lokasi pada penelitian-penelitian tersebut. Penelitian Maula (2014) mengungkapkan potensi bioremediasi kromium dalam limbah cair dengan memanfaatkan isolat bakteri *indigenous* dari industri penyamakan, yang diambil dari kolam instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Jawa Timur. IPAL dari industri penyamakan kulit di Kota Malang juga dijadikan lokasi penelitian oleh Wardani (2015) untuk mengetahui keragaman koloni bakteri *indigenous* di lokasi tersebut. Selanjutnya, keragaman bakteri dan peninjauan rhizosfer juga diteliti Meitiniarti (2014) yang membahas berbagai jenis bakteri yang dapat mereduksi kromium dari air limbah penyamakan kulit dan rhizosfer *Acalypha indica* di Jawa Timur. Sementara itu, penelitian di industri kerajinan kulit Sukaregang, Kabupaten Garut salah satunya dilakukan oleh Aminullah (2015) yang

mengisolasi dan karakterisasi secara morfologis rhizobakteri pada akar *Rhizophora mucronata* yang tercemar logam Pb.

Penggunaan konsorsium bakteri dalam bioremediasi telah menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan satu jenis bakteri. Menurut Sa'diyah, Suarsini, & Ibrohim (2016), kombinasi beberapa genus bakteri dapat meningkatkan efisiensi bioremediasi logam berat seperti kromium, karena setiap genus memiliki mekanisme penanganan terhadap kromium yang berbeda dan saling melengkapi. Penelitian Joutey *et al.* (2011) pada isolat bakteri dari area tercemar limbah penyamakan kulit di Moroko menunjukkan bahwa bakteri *indigenous* yang toleran dan mampu mereduksi Cr(VI) pada konsentrasi tinggi akan sangat berguna dalam penanganan limbah yang terkontaminasi Cr(VI). Penelitian Dwisandi *et al.* (2021) pada isolat bakteri *indigenous* limbah industri batik menambahkan bahwa konsorsium mikroorganisme sebagai agen bioremediasi bergantung pada berbagai faktor yang dapat memengaruhi keunggulannya dalam mendegradasi logam berat seperti jenis logam berat, tingkat parameter fisikokimia limbah, dan mikroorganisme yang terlibat.

Pada penelitian ini digunakan dua genus rhizobakteri *indigenous* dalam setiap kombinasi konsorsium, merepresentasikan jumlah minimal untuk konsorsium. Selain itu, jumlah bakteri yang lebih kecil dalam konsorsium lebih memungkinkan untuk melihat dinamika interaksi antar bakteri pada konsorsium dalam cekaman kromium. Belum ada laporan mengenai penggunaan konsorsium rhizobakteri yang dianggap lebih efektif untuk remediasi kromium di Sukaregang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau potensi konsorsium dua genus rhizobakteri *indigenous* dari rhizosfer tumbuhan yang tercemar kromium di Sukaregang, Kabupaten Garut, dalam meremediasi kromium secara *in vitro*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang dihasilkan adalah sebagai berikut: “Bagaimana potensi kombinasi dua genus rhizobakteri *indigenous* yang diisolasi dari area rhizosfer tumbuhan di lingkungan yang tercemar kromium sebagai agen bioremediasi kromium?”

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka diajukan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut.

1. Apa saja genus isolat rhizobakteri *indigenous* resisten kromium yang teridentifikasi?
2. Bagaimana interaksi dua genus rhizobakteri dalam konsorsium pada masing-masing kombinasi?
3. Bagaimana potensi konsorsium kombinasi dua genus rhizobakteri dalam meremediasi kromium secara *in vitro* berdasarkan pertumbuhan konsorsium di bawah cekaman kromium dan persentase *bioremoval* kromium oleh konsorsium?
4. Bagaimana hubungan pertumbuhan konsorsium kombinasi dua genus rhizobakteri di bawah cekaman kromium dengan persentase *bioremoval*-nya sebagai agen bioremediasi kromium?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi kombinasi dua genus rhizobakteri *indigenous* yang diisolasi dari area rhizosfer tumbuhan di lingkungan yang tercemar kromium sebagai agen bioremediasi kromium.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini mencakup sebagai berikut.

1. Isolat bakteri yang teridentifikasi berasal dari rhizosfer tumbuhan yang terkontaminasi kromium.
2. Isolat bakteri dipilih lima bakteri resisten kromium berdasarkan hasil skrining bakteri dengan pertumbuhan terbaik pada media yang ditambahkan kromium.
3. Kemampuan bioremediasi kromium oleh bakteri dilakukan dalam skala laboratorium melalui pengujian secara *in vitro*.
4. Potensi dan interaksi bakteri dilihat berdasarkan kompatibilitas antar bakteri dalam konsorsium, pertumbuhan konsorsium bakteri, dan persentase *bioremoval* kromium oleh konsorsium bakteri.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini di antaranya sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu mikrobiologi dan bioteknologi, khususnya dalam pemahaman mengenai potensi rhizobakteri *indigenous* sebagai agen bioremediasi kromium, serta memberikan dasar bagi penelitian lanjutan mengenai mekanisme resistensi dan bioremediasi kromium oleh rhizobakteri.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dalam strategi pemulihan lahan yang tercemar kromium dengan menggunakan kombinasi rhizobakteri yang efektif, sehingga mendukung pengembangan teknologi bioremediasi yang ramah lingkungan dan efisien, serta memberikan informasi yang berguna untuk pengelolaan lingkungan dan penyusunan kebijakan terkait pengelolaan tanah tercemar logam berat.

1.7 Struktur Organisasi Skripsi

Ringkasan isi skripsi dapat dipahami melalui struktur organisasi berikut

1. Bab I Pendahuluan

Bab I menjelaskan pendahuluan skripsi yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian, serta manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian.

2. Bab II Landasan Teori

Bab II menjelaskan teori yang menjadi landasan dilakukannya penelitian, meliputi limbah proses penyamakan kulit, kromium, tanah tercemar oleh kromium, bioremediasi tanah tercemar kromium, bakteri resisten kromium, mekanisme bakteri dalam bioremediasi kromium, dan aktivitas sinergisme konsorsium bakteri dalam bioremediasi kromium dalam tanah.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab III menjelaskan jenis penelitian, populasi dan sampel penelitian, waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, analisis data, dan alur penelitian.

4. Bab IV Temuan dan Pembahasan

Bab IV menjelaskan temuan yang diperoleh dari penelitian berdasarkan metode dan analisis data yang telah dilakukan berupa grafik, tabel, maupun gambar dan dibahas dengan mengaitkannya berdasarkan pustaka dan penelitian terdahulu.

5. Bab V Simpulan, Implikasi, dan Rekomendasi

Bab V berisi simpulan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh serta implikasi dan rekomendasi untuk penelitian berikutnya.