

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi spesies *Bacillus licheniformis*, *Bacillus paralicheniformis*, dan *Brevibacillus borstelensis* yang diformulasikan dalam Formula 1 (F1) merupakan kombinasi paling optimal sebagai agen bioremediasi logam krom dari limbah industri penyamakan kulit. Formula ini menunjukkan efisiensi bioremoval tertinggi sebesar  $\pm 32,71\%$ . Interaksi sinergis ketiga spesies tersebut meningkatkan ketahanan terhadap stres kromium dan memperkuat kemampuan detoksifikasi, dengan *B. licheniformis* dan *B. paralicheniformis* berperan dominan, sedangkan *B. borstelensis* memberikan kontribusi pelengkap. Kesimpulan ini diperoleh berdasarkan temuan yang menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Ketiga bakteri resisten logam krom yang berhasil diisolasi dari tanah tercemar memiliki karakteristik morfologi berbentuk batang, Gram positif, mampu membentuk endospora, serta menunjukkan aktivitas biokimia yang bervariasi. Secara molekuler, identifikasi melalui sekuensing gen 16S rRNA mengonfirmasi bahwa isolat tersebut adalah *Bacillus licheniformis*, *Bacillus paralicheniformis*, dan *Brevibacillus borstelensis*.
2. Efisiensi bioremoval logam krom yang diuji pada masing-masing formula konsorsium menunjukkan bahwa Formula 1 memiliki nilai tertinggi sebesar  $\pm 32,71\%$ . Formula 2 yang terdiri dari *B. licheniformis* dan *B. paralicheniformis* menunjukkan efisiensi kedua tertinggi, sedangkan Formula 3 (*B. licheniformis* dan *B. borstelensis*) dan Formula 4 (*B. paralicheniformis* dan *B. borstelensis*) menunjukkan efisiensi yang lebih rendah.
3. Kombinasi spesies bakteri yang memberikan efisiensi bioremediasi paling tinggi terhadap logam krom adalah Formula 1. Kombinasi ini memberikan keunggulan kompetitif dalam kondisi lingkungan terpapar krom, berkat mekanisme sinergis antar spesies yang memperkuat efektivitas

bioremediasi, baik melalui peningkatan toleransi terhadap logam berat maupun aktivitas metabolik yang mendukung proses reduksi kromium.

## 5.2 Implikasi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam mendukung upaya penanggulangan pencemaran lingkungan akibat limbah logam berat, khususnya logam krom, melalui pendekatan bioremediasi. Penelitian ini juga memberikan dasar bagi pemanfaatan bakteri resisten logam sebagai agen bioremediasi yang efektif, dengan menunjukkan bahwa kombinasi spesies bakteri tertentu dapat meningkatkan efisiensi bioremoval. Selain itu, penggunaan metode identifikasi berbasis karakteristik biokimia dan analisis molekuler (sekuensing gen 16S rRNA) terbukti memberikan informasi yang komprehensif mengenai potensi tiap isolat bakteri. Temuan ini bermanfaat dalam pengembangan teknologi bioremediasi yang lebih spesifik, efisien, dan aplikatif untuk diterapkan pada limbah industri, khususnya limbah penyamakan kulit yang mengandung logam krom.

## 5.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Pembuatan kurva baku pertumbuhan bakteri perlu dilakukan untuk menentukan waktu panen yang paling optimal sehingga efisiensi bioremoval dapat dimaksimalkan berdasarkan viabilitas dan fase pertumbuhan mikroba.
2. Pengukuran efisiensi bioremoval dilakukan pada interval waktu yang lebih terperinci untuk mengetahui dinamika kemampuan bakteri dalam menyerap logam selama waktu tertentu dan mengidentifikasi titik waktu optimal untuk proses remediasi.
3. Uji efisiensi bioremoval pada kondisi lingkungan nyata (*in situ*) disarankan untuk mengevaluasi potensi aplikatif konsorsium dalam skala lapangan dan mengidentifikasi tantangan operasional yang mungkin muncul.
4. Analisis ekspresi gen terkait resistensi dan detoksifikasi logam berat dapat dilakukan untuk memahami mekanisme molekuler yang berperan dalam

proses bioremediasi dan memperkuat basis ilmiah penggunaan konsorsium bakteri.