

BAB 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan hasil penelitian yang telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan.

1. Biosorben cangkang larva CL-HI memiliki struktur biokomposit yang tersusun dari fase kalsit (CaCO_3) dan komponen organik (kitin/protein), dengan kristalinitas yang baik. Gugus fungsi aktif seperti $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, dan $-\text{COO}^-$ teridentifikasi berperan sebagai situs aktif adsorpsi. Selain itu, biosorben memiliki struktur mesopori dengan morfologi permukaan heterogen yang mendukung proses difusi dan interaksi ion logam.
2. Biosorben CL-HI mampu mengadsorpsi ion Pb(II) , Cu(II) , dan Fe(III) secara efektif dalam sistem multilogam, dengan tingkat selektivitas yang lebih tinggi terhadap ketiga ion tersebut dibandingkan ion lainnya. Selektivitas ini dipengaruhi oleh karakteristik fisikokimia ion logam serta afinitas terhadap gugus fungsi biosorben.
3. Proses adsorpsi berlangsung melalui mekanisme kompleks yang melibatkan interaksi kimia dan fisika, terutama kompleksasi, pertukaran ion, dan interaksi elektrostatik. Model kinetika yang paling sesuai adalah pseudo-second-order (PSO), yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi didominasi oleh kemisorpsi.
4. Model isoterm Langmuir dan Freundlich mampu menggambarkan proses adsorpsi, yang menunjukkan adanya kombinasi adsorpsi monolayer dan multilayer pada permukaan biosorben. Parameter termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat spontan (ΔG° negatif), endotermik (ΔH° positif), dan meningkatkan ketidakteraturan sistem (ΔS° positif).
5. Biosorben CL-HI memiliki potensi ekonomis yang tinggi sebagai adsorben berbiaya rendah karena berasal dari limbah biomassa, tidak memerlukan aktivasi kimia, serta memiliki kinerja adsorpsi yang kompetitif dibandingkan adsorben lain, sehingga berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair secara luas.

5.2 Saran

Saran yang diusulkan untuk penelitian mendatang yaitu.

1. Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) guna mengevaluasi aspek keberlanjutan lingkungan dari biosorben CL-HI.
2. Perhitungan emisi CO₂ selama proses preparasi dan aplikasi biosorben untuk mengetahui dampak lingkungan proses.
3. Karakterisasi XRD setelah adsorpsi untuk mengamati perubahan struktur kristal material.
4. Uji *recovery* dan regenerasi adsorben untuk mengevaluasi potensi penggunaan ulang biosorben.
5. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi penerapan biosorben pada air limbah aktual serta mengintegrasikan kajian teknis, lingkungan, sosial, ekonomi, dan tata kelola untuk mengevaluasi kelayakan implementasi biosorben dalam pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan.