BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan komposit karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dimodifikasi dengan Metal Organic Frameworks (MOFs) $Cu(TAC)_2$ berbasis ligan asam tereftalat dari limbah plastik PET, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit KA-$Cu(TAC)_2$ berhasil disintesis melalui penggabungan karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dengan MOFs $Cu(TAC)_2$. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan adanya perubahan morfologi permukaan setelah pembentukan komposit, yang ditandai oleh terbentuknya permukaan yang lebih heterogen dengan struktur berpori. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, MOFs $Cu(TAC)_2$ dan KA-$Cu(TAC)_2$ memiliki sistem kristal triklinik dan monoklinik. MOFs $Cu(TAC)_2$ memiliki volume sel satuan sebesar 216,8 $Å^3$ pada sistem triklinik dan 543,8 $Å^3$ pada sistem monoklinik, sedangkan KA-$Cu(TAC)_2$ memiliki volume sel satuan sebesar 314,5 $Å^3$ dan 911,61 $Å^3$. Peningkatan volume sel satuan tersebut menunjukkan adanya perubahan karakteristik struktur kristal setelah MOFs $Cu(TAC)_2$ dikompositkan dengan karbon aktif.
2. Kondisi optimum adsorpsi ion Cu(II) oleh komposit KA-$Cu(TAC)_2$ diperoleh pada massa adsorben 1 gram, konsentrasi awal 180 ppm, waktu kontak 30 menit, dan suhu 303 K dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9,64 mg/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modifikasi menggunakan $Cu(TAC)_2$ mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi adsorben terhadap ion Cu(II).
3. Kesetimbangan adsorpsi ion Cu(II) pada komposit KA–$Cu(TAC)_2$ lebih sesuai dijelaskan menggunakan model isoterm Freundlich. Model Langmuir menghasilkan R^2 sebesar 0,9542, namun parameter qmax dan KL bernilai negatif sehingga tidak valid secara fisik. Sebaliknya, model Freundlich menghasilkan R^2 sebesar 0,9457 dengan parameter isoterm yang valid,

sehingga lebih representatif dalam menggambarkan adsorpsi Cu(II) pada permukaan adsorben yang bersifat heterogen.

4. Kinetika adsorpsi ion Cu(II) pada komposit KA–Cu(TAC)$_2$ lebih sesuai mengikuti model *pseudo-second-order*, yang ditunjukkan oleh nilai R^2 sebesar 0,9826, lebih tinggi dibandingkan model *pseudo-first-order* dengan R^2 sebesar 0,3083. Selain itu, model *pseudo-second-order* menghasilkan kapasitas adsorpsi teoritis (qe) sebesar 7,491 mg/g, yang lebih mendekati data eksperimen dibandingkan model *pseudo-first-order* (qe = 0,00038 mg/g). Hasil tersebut menunjukkan bahwa laju adsorpsi lebih dipengaruhi oleh interaksi antara ion Cu(II) dan situs aktif pada permukaan adsorben.
5. Hasil analisis termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion Cu(II) oleh komposit KA-Cu(TAC)$_2$ memiliki nilai $\Delta H°$ sebesar -2,848 kJ/mol dan $\Delta S°$ sebesar -28,75364 J/mol·K. Nilai $\Delta H°$ negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksoterm, sedangkan nilai $\Delta S°$ negatif menunjukkan terjadinya penurunan ketidakteraturan sistem pada antarmuka adsorben-adsorbat selama proses adsorpsi berlangsung. Nilai $\Delta G°$ pada suhu 303 K, 313 K, 333 K, dan 353 K masing-masing sebesar 5,863 kJ/mol, 6,151 kJ/mol, 6,726 kJ/mol, dan 7,301 kJ/mol. Nilai $\Delta G°$ yang positif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung kurang spontan secara termodinamika pada kondisi penelitian. Peningkatan nilai $\Delta G°$ seiring kenaikan suhu menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan kestabilan adsorpsi ion Cu(II) pada permukaan adsorben menjadi menurun.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan stabilisasi tambahan pada komposit KA-Cu(TAC)$_2$ untuk meningkatkan kestabilan struktur MOFs dalam media berair serta mempertahankan performa adsorpsi terhadap ion Cu(II) selama proses penggunaan berlangsung.
2. Kajian lanjutan mengenai mekanisme adsorpsi perlu dilakukan melalui pengujian pengaruh pH, regenerasi adsorben, serta analisis isoterm,

kinetika, dan termodinamika menggunakan pendekatan non-linear agar diperoleh parameter adsorpsi yang lebih akurat dan komprehensif.

3. Pengujian komposit KA-Cu(TAC)$_2$ pada limbah cair industri nyata maupun ion logam berat lainnya perlu dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas, selektivitas, dan potensi aplikasinya dalam sistem pengolahan limbah yang lebih kompleks.

UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
UNIMED
THE Character Building UNIVERSITY