

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Adsorpsi adalah proses pengumpulan suatu substansi pada permukaan padatan adsorben (Tchobanoglous et al., 2014). Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan sistem kontinu menggunakan sistem kolom yang dapat dipelajari dengan kurva *breakthrough* yang umumnya dideskripsikan dengan pendekatan matematis. Kurva *breakthrough* terbentuk dari data adsorpsi kolom dan dapat diprediksi serta dianalisis menggunakan model matematika Thomas, Adams-Bohart, dan Yoon-Nelson untuk mengoptimalkan desain kolom dan skala proses adsorpsi kolom. Model Adams-Bohart mengasumsikan bahwa laju adsorpsi sebanding dengan kapasitas sisa adsorben dan konsentrasi spesies yang menjerap. Model Yoon-Nelson bertujuan untuk memprediksi waktu berjalannya kolom sebelum diperlukannya regenerasi atau penggantian kolom. Model Thomas mengasumsikan untuk mengontrol laju adsorpsi (Nwabanne et al., 2022). Ketiga model pendekatan yang dilakukan tersebut berfungsi untuk mengevaluasi kinerja adsorpsi kolom adsorpsi, memprediksi kurva *breakthrough*, dan menentukan kapasitas adsorpsi.

Adsorpsi melibatkan dua komponen utama yaitu adsorben yang merupakan padatan yang permukaannya terjadi pengumpulan substansi yang disisihkan dan adsorbat yaitu substansi yang akan disisihkan dari cairan (Tchobanoglous et al., 2014). Adsorbat pada proses adsorpsi dapat berupa larutan yang mengandung lebih dari satu komponen atau substansi sehingga dapat terjadi kompetisi antar substansi dalam adsorbat tersebut dan dapat memengaruhi hasil adsorpsi (Sotelo et al., 2014). Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan interaksi antar komponen untuk dapat disisihkan oleh adsorben atau media dalam kolom. Studi kompetisi pada proses adsorpsi multikomponen diperlukan untuk menentukan komponen atau parameter dominan yang tersisihkan oleh media dalam proses kolom adsorpsi. Informasi ini selanjutnya dapat digunakan untuk pengembangan desain kolom pada proses adsorpsi.

Penelitian terdahulu tentang studi kompetisi dan pemodelan telah dilakukan oleh Tsai et al. (2016) dalam mengadsorpsi logam Pb (II), Cu (II) dan Ni (II) yang

menggunakan adsorben chitosan dilapisi betonit pada larutannya. Hasil yang diperoleh berupa kurva *breakthrough* dengan waktu jenuh berbeda-beda di setiap parameternya. Waktu jenuh Ni(II) lebih awal dibandingkan Cu(II) dan Pb(II) sehingga kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada larutan Pb(II)>Cu(II)>Ni(II). Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan sifat logam seperti keelektronegatifan dan konstanta hidrolisis, dengan Pb(II) yang paling elektronegatif dan mudah terhidrolisis dibandingkan dengan Cu(II) dan Ni(II). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa model Thomas, Adams-Bohart, dan Yoon Nelson memberikan prediksi yang baik terhadap perilaku adsorpsi logam Pb(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam sistem yang terdiri dari multikomponen. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa perpindahan massa eksternal mendominasi kinetika adsorpsi pada tahap awal proses adsorpsi, yang tercermin dari peningkatan nilai k_{TH} (Konstanta Thomas). Selain itu, peningkatan nilai k_{YN} (konstanta laju Yoon-Nelson) menunjukkan peningkatan gaya penggerak perpindahan massa pada lapisan film, yang mengakibatkan saturasi kolom tercapai lebih cepat dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk mencapai 50% proses adsorpsi.

Percobaan adsorpsi menggunakan kolom tunggal memanfaatkan serbuk sabut kelapa sebagai adsorben yang dikombinasi dengan media pasir sebagai penyaring untuk mengolah air limbah *laundry* telah dilakukan (Aprilia, 2023; Arfi, 2023; Dzakiyyah, 2024; Putri, 2023). Kolom yang digunakan berdiameter 5 cm dan panjang 40 cm dengan pengaliran *downflow* selama 48 jam dengan variasi kondisi media dan debit aliran. Hasil yang diperoleh yaitu efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada kolom dengan media tercampur dengan debit aliran 9,6 L/jam. Efisiensi penyisihan rata-rata detergen, fosfat dan COD berturut-turut yaitu sebesar 43,32%; 35,18% dan 56,51%. Sedangkan untuk kapasitas adsorpsi terbesar diperoleh pada debit aliran 14,4 L/jam secara berturut-turut sebesar 17,06 mg/g; 59,44 mg/g dan 973,32 mg/g untuk detergen, fosfat dan COD. Hasil penelitian juga menunjukkan titik jenuh media dalam kolom yang berbeda-beda untuk ketiga parameter yang diteliti yaitu 36 jam untuk detergen, 48 jam untuk fosfat dan 36 jam untuk bahan organik yang terukur sebagai COD.

Untuk mempelajari proses yang terjadi pada kolom adsorpsi lebih lanjut, pada penelitian ini dilakukan studi kompetisi dan pemodelan kinetika adsorpsi bahan

organik yang terukur sebagai COD, fosfat, dan detergen dari air limbah *laundry*. Hal ini diperlukan untuk mempelajari mekanisme dan interaksi yang terjadi dalam proses penyisihan sehingga dapat ditentukan parameter yang dominan tersisihkan pada variasi atau kondisi proses yang diteliti. Sementara pemodelan kinetika adsorpsi dapat digunakan untuk memprediksi kurva *breakthrough* dengan tujuan untuk mengoptimalkan desain dan skala proses adsorpsi kolom.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kompetisi dan pemodelan kinetika adsorpsi detergen, fosfat, dan bahan organik yang terukur sebagai COD dari air limbah *laundry* pada kolom tunggal dengan media pasir dan serbuk sabut kelapa.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membandingkan penurunan konsentrasi, kurva *breakthrough*, dan efisiensi penyisihan detergen, fosfat, dan bahan organik yang terukur sebagai COD dari air limbah *laundry* pada kolom tunggal dengan media pasir dan adsorben serbuk sabut kelapa dengan variasi kondisi media dan debit influen yang diuji;
2. Membandingkan kapasitas adsorpsi media pasir dan adsorben serbuk sabut kelapa pada kolom dalam menyisihkan detergen, fosfat dan bahan organik yang terukur sebagai COD dari air limbah *laundry* menggunakan kolom adsorpsi dengan media serbuk sabut kelapa dan pasir pada variasi kondisi media dan debit yang diuji;
3. Menganalisis kompetisi senyawa terlarut meliputi detergen, fosfat, dan bahan organik yang terukur sebagai COD dalam air limbah *laundry* pada proses adsorpsi kolom berdasarkan efisiensi penyisihan, kapasitas adsorpsi, dan analisis gugus fungsi dalam media adsorpsi yang digunakan;
4. Menguji kesesuaian model Adams-Bohart, Yoon-Nelson, dan Thomas terhadap data eksperimen dalam memprediksi kurva *breakthrough* dan perilaku adsorpsi detergen, fosfat dan bahan organik yang terukur sebagai COD dalam sistem multikomponen air limbah *laundry*.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat tesis ini adalah:

1. Menyisihkan parameter pencemar *laundry* seperti detergen, fosfat, dan bahan organik yang terukur COD yang terdapat dalam air limbah *laundry* sehingga tidak berbahaya jika dibuang ke badan air atau selokan;
2. Mendapatkan informasi tentang interaksi dan kompetisi adsorpsi parameter terlarut dalam proses adsorpsi menggunakan kolom;
3. Hasil studi dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengembangkan desain kolom adsorpsi sehingga bisa diterapkan dalam skala yang lebih luas.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari tesis ini adalah:

1. Percobaan adsorpsi dilakukan dengan sistem kolom tunggal berbahan PVC dengan diameter kolom 5 cm dan tinggi 40 cm;
2. Ketinggian media pada variasi kolom terpisah adalah 15 cm pasir, 15 cm serbuk sabut kelapa dan 3 cm kerikil sedangkan untuk variasi kolom tercampur setinggi 30 cm yang berisikan campuran media pasir dan adsorben serbuk sabut kelapa dengan rasio 1:1;
3. Variasi penelitian yang dilakukan adalah variasi debit aliran yaitu 9,6 L/jam dan 14,4 L/jam serta variasi media pada kolom yang digunakan yaitu variasi media pasir dan adsorben serbuk serbuk kelapa yang dipisah dan variasi media pasir dan adsorben sabut kelapa yang dicampur;
4. Data penelitian yang dianalisis adalah data penelitian yang berasal dari variasi kolom media terpisah dan kolom media tercampur dengan variasi laju alir inlet yaitu debit aliran yaitu 9,6 L/jam dan 14,4 L/jam;
5. Model matematika yang digunakan untuk kurva *breakthrough* adalah model Thomas, model Adams-Bohart, dan model Yoon-Nelson.

1.5 Sistematika Penulisan Tesis

Sistematika penulisan tesis ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan tesis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang karakteristik air limbah *laundry*, COD, fosfat, detergen, adsorpsi, kurva *breakthrough*, pemodelan Thomas, pemodelan Adams-Bohart, pemodelan Yoon-Nelson, dan teori-teori pendukung lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang dilakukan, mulai dari studi literatur, pengumpulan data sekunder, studi karakteristik, serta pengolahan dan analisis data perubahan konsentrasi, kurva *breakthrough*, efisiensi penyisihan, kapasitas adsorpsi, analisis FTIR, dan pemodelan matematika yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian penurunan konsentrasi, kurva *breakthrough*, efisiensi penyisihan rata-rata, kapasitas adsorpsi, analisis FTIR, studi kompetisi adsorpsi, pemodelan matematis, pemodelan kurva *breakthrough* terbaik beserta rekomendasi hasil penelitian disertai pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan.