

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Adsorpsi adalah proses penyisihan partikel terlarut dari larutan dengan cara menjerapnya pada permukaan adsorben (Reynolds & Richards, 1996). Proses adsorpsi dapat dilakukan secara *batch* maupun proses kontinu (kolom). Teknik adsorpsi kolom biasanya dipertimbangkan untuk pengolahan air limbah industri skala besar karena pengoperasiannya yang sederhana, memiliki efisiensi penyisihan kontaminan yang tinggi, dan dapat dengan mudah ditingkatkan dari skala laboratorium. Fenomena adsorpsi pada sistem kontinu dapat dilihat dari kurva *breakthrough* yang terbentuk dari penyisihan pencemar (Nwabanne et al. 2022).

Dalam memahami sifat dan kinetika adsorpsi serta memprediksi kurva *breakthrough* maka digunakan model matematika (Nwabanne et al. 2022). Model matematika yang sering digunakan adalah model matematika Thomas, Adams-Bohart dan Yoon Nelson yang dapat digunakan untuk menggambarkan dan meramalkan data eksperimen sehingga dapat mengoptimalkan desain kolom dan meningkatkan skala proses adsorpsi kolom (Fernandez et al., 2023). Model Thomas didasarkan pada model perpindahan massa yang mengasumsikan bahwa pencemar berpindah dari larutan ke film di sekitar partikel dan berdifusi melalui film cair ke permukaan adsorben. Model Adams-Bohart mengasumsikan bahwa laju adsorpsi sebanding dengan konsentrasi sisa adsorben dan konsentrasi spesies penjerap. Sedangkan model Yoon Nelson bertujuan untuk memprediksi waktu berjalannya kolom sebelum diperlukannya regenerasi atau penggantian kolom (Sarici-Ozdemir and Onay 2018).

Dalam proses adsorpsi terdapat istilah adsorbat dan adsorben. Konstituen yang mengalami adsorpsi pada suatu permukaan media disebut sebagai adsorbat, dan media padat tempat konstituen tersebut teradsorpsi disebut sebagai adsorben (Crittendedn et al. 2012). Adsorbat pada proses adsorpsi dapat berupa larutan multikomponen. Larutan multikomponen merupakan larutan yang mempunyai lebih dari satu komponen atau senyawa di dalamnya (Peñafiel and Flores 2023). Dalam proses adsorpsi pada larutan multi-komponen akan terjadi kompetisi dari

komponen-komponen dalam larutan tersebut untuk mendapatkan situs aktif adsorben, sehingga 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 dan proses adsorpsi.

Ivancev-Tumbas et al., (2020) melakukan studi kompetisi bahan organik yaitu dari larutan campuran 1,5 mM NaHCO<sub>3</sub> dengan 1,5 mM MgSO<sub>4</sub> menggunakan adsorben grafit. Hasil studi kompetisi bahan organik diperoleh secara kapasitas adsorpsi yaitu 1-naphthol > 2-methoxynaphthalene > naphthalene > anisole > phenol. Hal ini dikarenakan adanya gugus fungsi C=C atau interaksi  $\pi$ - $\pi$  antara senyawa aromatik dengan permukaan grafit. Shi et al., (2022) melakukan studi kompetisi adsorpsi nitrat, fosfat dan sulfat menggunakan adsorben jerami gandum dengan modifikasi amina. Hasil kompetisi ketiga parameter ini secara kinetik mengikuti urutan SO<sub>4</sub>>PO<sub>4</sub>>NO<sub>3</sub>. Hal ini dikarenakan adanya gugus fungsi yang terdapat dalam adsorben yang dapat memengaruhi proses adsorpsi adsorbat.

Selain itu Tsai et al., (2016) melakukan studi kompetisi adsorpsi logam Pb (II), Cu (II), dan Ni (II) dari pada kolom *fixed bed* menggunakan adsorben chitosan yang dilapisi dengan bentonit. Hasil studi kompetisi yang diperoleh terjadi pada urutan Pb(II)> Cu(II)>Ni(II). Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan sifat logam seperti keelektronegatifan dan konstanta hidrolisis, dimana Pb(II) yang paling elektronegatif dan mudah terhidrolisis dibandingkan dengan Cu(II) dan Ni(II). Pada penelitian Tsai et al., (2016) tersebut juga dilakukan pemodelan kinetika kolom adsorpsi menggunakan model Thomas, Adams-Bohart dan Yoon Nelson dalam memprediksi perilaku adsorpsi Pb(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam sistem multikomponen. Hasil pemodelan diperoleh perpindahan massa eksternal mendominasi kinetika adsorpsi pada awal proses adsorpsi yang ditandai dengan meningkatnya nilai konstanta Thomas ( $k_{TH}$ ). Selain itu meningkatnya nilai konstanta Yoon-Nelson ( $k_{YN}$ ) menandakan adanya peningkatan gaya pendorong

perpindahan massa pada film yang menyebabkan adsorben dalam kolom lebih cepat jenuh.

Air limbah *laundry* mengandung berbagai macam polutan seperti padatan tersuspensi, garam, nutrisi, bahan organik dan patogen yang berasal dari pakaian, detergen, dan residu pelembut kain (Alhinai 2019). Detergen yang digunakan sebagai bahan pembersih pakaian dalam air limbah *laundry* terdiri dari surfaktan, *builder*, zat aditif dan *filler* (Utomo et al. 2018). Surfaktan merupakan senyawa organik yang menjadi penyebab adanya parameter COD dan detergen dalam air limbah *laundry*. Selain itu *builder* pada produk detergen biasanya berasal dari natrium tripoli fosfat ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) (Kundu et al. 2015). Senyawa ini yang menjadi sumber adanya fosfat dalam air limbah *laundry*. Air limbah *laundry* biasanya terdiri atas zat organik (sabun, deterjen, pelarut terklorinasi, aromatik, zat biologis, lemak, dan lemak) dan zat anorganik (logam berat, pasir, lanau, tanah liat, ion logam, dan partikel) (Jayanto et al. 2021).

Penelitian tentang pengolahan air limbah *laundry* yang mengandung detergen, fosfat dan bahan organik, menggunakan kolom adsorpsi tunggal dengan pasir dan serbuk tongkol jagung sebagai media telah dilakukan (Hanafi, 2023; Octari, 2023; Oktavany, 2023 dan Syukrianisa, 2023). Penelitian menggunakan kolom tunggal berdimensi 40 cm dan diameter 5 cm dengan pengaliran influen secara *downflow* selama 48 jam dengan variasi kondisi media dan debit. Dari penelitian diperoleh efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada kolom dengan kondisi media pasir dan serbuk tongkol jagung tercampur pada debit 0,16 L/menit. Efisiensi penyisihan rata-rata bahan organik yang terukur sebagai *Chemical Oxygen Demand* (COD), fosfat dan detergen didapatkan berturut-turut sebesar 46,38%, 34,03% dan 44,83%. Sedangkan untuk kapasitas adsorpsi terbesar diperoleh pada kolom dengan kondisi media tercampur pada debit 0,24 L/menit, secara berturut-turut sebesar 708,829 mg/g untuk COD, 56,414 mg/g untuk fosfat, dan 7,008 mg/g untuk detergen. Kondisi jenuh media yang diperoleh juga berbeda-beda setiap parameter yaitu 24 jam untuk COD, 48 jam untuk fosfat dan 12 jam untuk detergen.

Untuk mempelajari proses yang terjadi pada kolom adsorpsi lebih lanjut, pada penelitian ini dilakukan studi kompetisi adsorpsi bahan organik yang terukur

sebagai COD, fosfat dan detergen dari air limbah *laundry* yang bertujuan untuk mengetahui dinamika adsorpsi kompetitif dari parameter-parameter tersebut. Berdasarkan dari dinamika adsorpsi tersebut dapat dipelajari mekanisme dan interaksi yang terjadi dalam proses penyisihan. Dari hasil studi dapat ditentukan parameter yang dominan tersisihkan pada variasi atau kondisi proses yang diteliti. Selanjutnya, pemodelan kinetika adsorpsi juga dilakukan untuk memprediksi kurva *breakthrough* dengan tujuan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi dan mengoptimalkan desain serta skala proses adsorpsi kolom.

## 1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

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

Tujuan penelitian ini antara lain adalah:

1. Membandingkan penurunan konsentrasi, kurva *breakthrough* dan efisiensi penyisihan bahan organik yang terukur sebagai COD, fosfat dan detergen dari air limbah *laundry* menggunakan kolom tunggal dengan media pasir dan adsorben serbuk tongkol jagung dengan variasi kondisi media dan laju alir yang diuji.
2. Membandingkan kapasitas adsorpsi adsorben serbuk tongkol jagung dalam mengadsorpsi bahan organik yang terukur sebagai COD, fosfat dan detergen dari air limbah *laundry* menggunakan kolom kombinasi filtrasi-adsorpsi dengan media pasir dan adsorben serbuk tongkol jagung pada variasi kondisi media dan debit yang diuji.
3. Menguji kesesuaian model Thomas, Adams-Bohart dan Yoon-Nelson terhadap data eksperimen dalam memprediksi kurva *breakthrough* dan perilaku adsorpsi bahan organik yang terukur sebagai COD, fosfat dan detergen dalam sistem multikomponen air limbah *laundry*.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian tesis ini adalah:

1. Menyisihkan parameter pencemar *laundry* seperti bahan organik yang terukur sebagai COD, fosfat dan detergen sehingga aman jika untuk 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 antara lain:

1. Percobaan adsorpsi dilakukan dengan sistem kolom tunggal dengan diameter kolom 5 cm dan tinggi 40 cm.
2. Ketinggian media pada variasi kolom terpisah adalah 15 cm pasir, 15 cm serbuk tongkol jagung dan 3 cm kerikil sedangkan untuk variasi kolom tercampur setinggi 30 cm yang berisikan campuran media pasir dan adsorben serbuk tongkol jagung 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 tongkol jagung yang dipisah dan variasi media pasir dan adsorben tongkol jagung yang dicampur.
4. Data penelitian yang dianalisis adalah data penelitian yang berasal dari variasi kolom media terpisah dan kolom media tercampur dengan adalah 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 The Adams-Bohart dan model The Yoon-Nelson.

## 1.5 Sistematikan Penulisan Tesis

Adapun sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

### **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, filtrasi, kurva *breakthrough*, pemodelan Thomoas, 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, studi literatur, pengumpulan data sekunder, serta pengolahan data dan analisis data menggunakan metode yang ditetapkan.

### **BAB IV          HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai pembahasannya.

### **BAB V          KESIMPULAN DAN SARAN**

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

