

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan dasar masyarakat yang terus meningkat, terutama di wilayah dengan dominasi lahan gambut seperti Kalimantan dan Sumatera. Di daerah tersebut, air gambut sering kali dimanfaatkan sebagai sumber air permukaan karena ketersediaannya yang melimpah. Namun, kualitas air gambut umumnya rendah akibat tingginya kandungan *dissolved organic matter* (DOM), khususnya *humic substances* seperti asam humat dan asam fulvat yang menyebabkan warna cokelat pekat serta meningkatkan nilai COD. Selain itu, air gambut juga dapat mengandung logam seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Kandungan DOM yang terkandung pada air gambut berpotensi membentuk *Disinfection-By-Products* (DBPs) selama proses desinfeksi air minum sehingga mempersulit pemanfaatannya sebagai sumber air bersih (Qadafi et al., 2023)

Berbagai metode pengolahan telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas air gambut, salah satunya melalui proses koagulasi-flokulasi memanfaatkan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Pemanfaatan PAC dilaporkan dapat mengurangi bahan organik hingga sekitar 98,67% dan warna hingga 98,26% dalam pengolahan air gambut melalui proses koagulasi-flokulasi (Fitria et al., 2025). Namun, sejumlah DOM dengan ukuran molekul kecil tetap dapat tersisa setelah proses koagulasi, sehingga diperlukan proses lanjutan seperti adsorpsi untuk meningkatkan efektivitas penghilangan senyawa organik dalam air gambut. Senyawa humik yang bersifat kompleks dan stabil di dalam air juga sering sulit dihilangkan sepenuhnya dengan metode koagulasi-flokulasi. Oleh karena itu, adsorpsi banyak diterapkan sebagai proses lanjutan menggunakan adsorben seperti *Granular Activated Carbon* (GAC) yang memiliki luas permukaan yang tinggi dan kemampuan adsorpsi terhadap senyawa organik.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa GAC mampu menurunkan *humic substances* hingga 78% serta pengurangan COD hingga 80% (Barloková et al., 2023; Tigrine et al., 2024). Selain itu, zeolit juga berpotensi digunakan sebagai adsorben alternatif karena memiliki struktur pori kristalin dan kemampuan pertukaran ion yang efektif dalam mengikat logam terlarut. Kombinasi zeolit dan karbon aktif bahkan dilaporkan dapat memberikan efek sinergis dalam menghilangkan kontaminan organik maupun anorganik pada air (R. Hidayat et al., 2022; Wijaya et al., 2021).

Dalam penerapan skala operasional untuk penyediaan air bersih, proses adsorpsi umumnya diaplikasikan menggunakan sistem kolom aliran kontinu (*fixed-bed column*) karena lebih merepresentasikan kondisi pengolahan air secara nyata dibandingkan dengan sistem *batch*. Kinerja adsorpsi dalam sistem kolom dipengaruhi oleh fenomena perpindahan massa dan kejenuhan media yang ditandai dengan kondisi *breakthrough*, sehingga analisis kinetika diperlukan untuk memahami perilaku adsorpsi selama operasi. Model kinetika seperti Thomas dan Yoon–Nelson banyak digunakan untuk memprediksi kapasitas adsorpsi, konstanta laju kinetika, serta waktu terjadinya 50% *breakthrough* yang penting dalam evaluasi dan perancangan sistem kolom (Kardena & Yusharani, 2022). Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji efisiensi adsorpsi pada pengolahan air gambut, kajian mengenai perubahan karakteristik fisik adsorben setelah penggunaan khususnya terkait luas permukaan dan struktur pori menggunakan analisis BET (*Brunauer–Emmett–Teller*) masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada penggunaan *Granular Activated Carbon* (GAC) dan zeolit dalam sistem *fixed-bed column* untuk pengolahan air gambut sebagai sumber air bersih, sekaligus menganalisis perubahan karakteristik pori adsorben menggunakan metode BET sebelum dan setelah proses adsorpsi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kinerja kedua jenis adsorben dalam mengolah air gambut serta mendukung pengembangan sistem pengolahan air bersih yang lebih efektif, berkelanjutan, dan aplikatif bagi wilayah yang bergantung pada sumber air gambut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang, didapatkan rumusan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja GAC dan zeolit dalam menyisihkan parameter kualitas air gambut seperti COD, DOM, warna, dan TDS pada sistem *fixed-bed column* dengan variasi kedalaman *bed* adsorben?
2. Bagaimana perubahan luas permukaan dan karakteristik pori GAC dan zeolit sebelum dan sesudah digunakan pada proses adsorpsi air gambut berdasarkan analisis BET?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi pada sistem *fixed-bed column* yang dimodelkan menggunakan model Thomas dan Yoon-Nelson, termasuk konstanta laju dan kapasitas adsorpsi?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Mengacu pada uraian latar belakang, berikut adalah maksud dan tujuan dalam penelitian:

1.3.1 Maksud

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi kinerja media adsorben GAC dan zeolit dalam pengolahan air gambut menggunakan sistem *fixed-bed column* serta mengkaji karakteristik fisik adsorben sebagai dasar analisis efektivitas proses adsorpsi.

1.3.2 Tujuan

1. Menganalisis efektivitas GAC dan zeolit dalam penyisihan parameter kualitas air gambut seperti COD, DOM, warna, dan TDS menggunakan sistem *fixed-bed column* dengan variasi kedalaman *bed* adsorben.
2. Menganalisis perubahan luas permukaan dan karakteristik pori GAC dan zeolit sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan metode BET (Brunauer-Emmett-Teller).
3. Menganalisis kinetika adsorpsi pada sistem *fixed-bed column* menggunakan model Thomas dan Yoon-Nelson untuk menentukan konstanta laju dan kapasitas adsorpsi.

1.4 Manfaat

Penelitian ini memiliki manfaat yang dituliskan sebagai berikut:

1. Peneliti mendapatkan pengalaman langsung serta memperluas pengetahuan mengenai penerapan proses adsorpsi menggunakan GAC dan zeolit dalam pengolahan air gambut yang mengandung materi organik, terutama berkaitan dengan analisis sifat adsorben melalui uji BET.
2. Akademisi mendapatkan referensi ilmiah baru mengenai hubungan antara luas permukaan spesifik dan karakteristik pori adsorben serta kinerja penghilangan bahan organik, yang dapat dijadikan dasar untuk penelitian lebih lanjut di bidang teknik lingkungan.
3. Masyarakat serta pihak-pihak terkait mendapatkan pemahaman alternatif tentang teknologi pengolahan air gambut yang lebih efisien dan praktis, terutama sebagai unit penjernihan dalam sistem pengolahan air bersih.
4. Studi ini menawarkan sumber rujukan untuk pengembangan teknologi pemrosesan air yang berkelanjutan, khususnya dalam pemilihan serta penilaian kinerja adsorben berdasarkan parameter fisik yang dapat diukur secara kuantitatif.

1.5 Lingkup Penelitian

Dalam sebuah penelitian terdapat batasan untuk mempertahankan fokus dan pencapaian tujuan. Berikut adalah batasan yang terdapat dalam ruang lingkup penelitian:

1. Sampel yang digunakan dalam studi ini adalah air gambut yang diperoleh dari Kalimantan Barat pada bulan Maret dalam periode musim hujan dan telah melalui proses koagulasi-flokulasi sebelum digunakan sebagai sumber air penelitian.
2. Parameter kualitas air yang dianalisis mencakup pH, COD, *DOM*, TDS, dan Warna sebagai indikator eksistensi dan penghilangan bahan organik dan ion logam dalam air gambut.
3. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah GAC dan zeolit tanpa perlakuan aktivasi atau modifikasi tambahan.
4. Proses adsorpsi dilaksanakan dengan menggunakan sistem kolom adsorpsi tipe aliran kontinu di skala laboratorium.
5. Karakterisasi adsorben berfokus pada analisis BET untuk mengetahui luas permukaan serta karakteristik pori adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi.
6. Studi ini dilakukan pada skala laboratorium dengan pengaturan operasional yang terkontrol dengan analisis morfologi permukaan, dan kinetika adsorpsi.