

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Permasalahan lingkungan akibat limbah cair industri, terutama lingkungan perairan, menjadi masalah yang serius di Indonesia. Pencemaran lingkungan perairan sering disebabkan oleh kontaminan logam berat seperti kromium (Cr), perak (Ag), nikel (Ni), emas (Au), molibdenum (Mo), dan logam berat lainnya yang dapat terserap dari tanah dan tanaman (Rachmawati & Sugiarto, 2023). Di antara logam-logam tersebut, ion logam perak perlu diperhatikan karena dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek toksik seperti neurotoksisitas dan pembentukan radikal bebas yang merusak lemak, protein, dan DNA (Engwa dkk., 2019). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010, batas maksimum kandungan ion perak dalam air adalah 1,0 mg/L. Oleh karena itu, diperlukan upaya efektif untuk menurunkan kadar ion logam perak dalam limbah cair.

Upaya untuk menurunkan kadar logam berat dalam air dapat dilakukan metode secara kimia seperti pengendapan, filtrasi, koagulasi, dan adsorpsi (Renu dkk., 2017). Adsorpsi menjadi metode paling efektif untuk menurunkan kadar ion Ag(I) karena metode ini tidak hanya efisien dan ramah lingkungan, tetapi juga mampu menjebak ion logam dalam jumlah kecil sekalipun (Fu & Wang, 2011). Adsorpsi memungkinkan penyerapan ion logam langsung dari larutan menggunakan material dengan luas permukaan besar dan gugus aktif, serta dapat diaplikasikan kembali dengan minim limbah berbahaya (Renu dkk., 2017).

Zeolit merupakan adsorben berbahan aluminosilikat berpori yang tersusun dari struktur tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{-5}$  dengan pemakaian bersama satu atom oksigen (Baile dkk., 2019). Berdasarkan sumbernya, zeolit terbagi menjadi zeolit alam dan sintetis. Zeolit sintetis, seperti zeolit A, X, Y, P, hidroksi sodalit, ZSM dan lainnya, memiliki kemurnian kristal yang tinggi, kation dan ukuran partikel yang seragam, sedangkan zeolit alam mengandung banyak kation seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{Fe}^{3+}$  (Król, 2020). Zeolit disintesis dengan rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

sebesar 2, 5, dan 10 melalui metode hidrotermal pada suhu 100 °C selama 9 jam dengan prekursor ludox dan natrium aluminat. Ludox dipilih sebagai sumber silika dipilih daripada karena ukuran partikel yang sangat kecil dan seragam (sekitar 12–15) (Mohamed dkk., 2005). Karakteristik ludox ini mendukung pembentukan struktur zeolit yang lebih murni dan terkontrol morfologinya. Metode hidrotermal menghasilkan zeolit dengan kristal yang teratur (Eviva dkk., 2023).

Rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  sangat berpengaruh terhadap struktur dan sifat adsorpsi zeolit. Rasio yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2, 5, dan 10. Hukum Lowenstein menyatakan bahwa Al-O-Al dalam kerangka zeolit dihindari karena ketidakstabilan elektrostatik (Larin, 2013), sehingga zeolit dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  di bawah 1 dihindari. Di sisi lain, rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  terlalu tinggi (di atas 10) cenderung menghasilkan zeolit dengan situs aktif yang rendah sehingga kurang mendukung aplikasi adsorpsi (Nguyen dkk., 2023). Rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  5 dipilih sebagai titik tengah ideal karena memberikan keseimbangan antara kestabilan struktur, jumlah situs asam, dan kemampuan adsorpsi.

Ion logam Ag(I) sebagai molekul target adsorpsi memiliki jari-jari ion terhidrasi sebesar 0,341 nm yang lebih besar dari jari-jari pori zeolit. Oleh karena itu, untuk dapat berinteraksi dengan situs aktif di dalam struktur zeolit, ion  $\text{Ag}^+$  mengalami proses dehidrasi, yaitu pelepasan molekul-molekul air. Ion logam Ag(I) memiliki afinitas elektron yang besar yaitu 125,6 kJ/mol sehingga dengan mudah menggantikan ion  $\text{Na}^+$  pada zeolit sintetis yang memiliki afinitas elektron 52,8 kJ/mol. Selain itu, Ion logam Ag(I) memiliki potensi sebagai antijamur karena kemampuannya berinteraksi dengan protein yang mengandung sulfur dan menekan rantai respirasi serta replikasi DNA pada jamur melalui produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang bahkan bisa menyebabkan kematian sel (Gurunathan dkk., 2022).

Zeolit dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dengan material lain, seperti grafena oksida (GO). Grafena oksida merupakan bahan hibrida yang tersusun dari atom-atom karbon dengan hibridisasi  $\text{sp}^2$  dan  $\text{sp}^3$ , serta memiliki berbagai gugus fungsional oksigen, seperti hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), dan epoksi (-O-) pada permukaan dan tepi lapisannya (Jiříčková dkk., 2022).

Kehadiran gugus-gugus fungsional ini menjadi penyedia situs aktif untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi pada logam sehingga komposit GO/Zelolit dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Silva dkk., 2020). Grafena oksida dalam penelitian ini disintesis dengan metode Hummers termodifikasi. Metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu proses sintesis yang relatif cepat dan suhu rendah (tidak lebih dari 45 °C), dan tidak menghasilkan gas beracun NO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dari NaNO<sub>3</sub> (Chen dkk., 2013). Selain kemampuan adsorpsinya, GO memiliki aktivitas antijamur dengan merusak membran sel jamur, menghambat pertumbuhan miselium, dan mengganggu perkecambahan spora (Zhang & Tang, 2013).

*Aspergillus niger* dipilih sebagai mikroorganisme uji karena sering menyebabkan kontaminasi serius pada produk pangan, herbal, dan bahan penyimpanan (Avasthi dkk., 2010). Penelitian tentang aktivitas antimikroba komposit GO/Zelolit sudah banyak difokuskan pada bakteri patogen, padahal kontaminasi oleh jamur juga merupakan masalah yang penting. Jamur *A. niger* tidak hanya merusak produk pangan, tetapi juga menghasilkan mikotoksin ochratoxin A yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, komposit GO/Zelolit dengan ion Ag(I) memiliki potensi sebagai agen antijamur alternatif yang relevan untuk lingkungan penyimpanan yang lembab dan tertutup.

Adsorpsi ion logam Ag(I) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi adsorbat, luas permukaan, waktu kontak, pH, suhu, ukuran partikel (Yang dkk., 2024). Pengujian kombinasi dari masing-masing faktor secara manual memerlukan waktu dan sumber daya yang besar sehingga dibutuhkan metode yang efektif. *Response Surface Method* (RSM) merupakan kumpulan statistik dan matematika untuk mengoptimalkan respon dari pengaruh faktor-faktornya (Oktavianty, 2022). Dalam penelitian ini, digunakan *Box Behnken Design* (BBD) yang lebih efisien dibandingkan *Full Factorial Design* (FFD) dan tidak memerlukan titik ekstrem seperti *Central Composite Design* (CCD) (Veljković dkk., 2019). Penggunaan metode RSM-BBD menjadi sangat relevan dalam penelitian ini untuk optimasi kondisi adsorpsi yang efisien terhadap tiga jenis komposit GO/Zelolit (GO/Z2, GO/Z5, dan GO/Z10).

Berdasarkan latar belakang di atas, sintesis komposit GO/zeolit dengan variasi rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dilakukan untuk mengoptimalkan adsorpsi ion logam Ag(I). Variasi rasio tersebut memengaruhi jenis kerangka zeolit yang terbentuk, yang berdampak pada kapasitas adsorpsi. Komposit ini juga berpotensi digunakan kembali sebagai agen antijamur terhadap *Aspergillus niger* karena sifat antimikroba Ag(I)

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Memperoleh komposit GO/Zeolit dengan variasi rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  2, 5, dan 10 beserta karakterisasinya
2. Memperoleh kombinasi kondisi adsorpsi optimum dari faktor konsentrasi, pH, dan lama waktu kontak terhadap adsorpsi Ag(I) dengan metode RSM-BBD
3. Menentukan aktivitas antijamur Ag-GO/Zeolit terhadap *Aspergillus niger*