

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan akibat logam berat, khususnya timbal (Pb), merupakan masalah global yang signifikan. Timbal adalah logam berat beracun yang sering ditemukan dalam limbah industri dan dapat mencemari sumber air. Pencemaran timbal menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan manusia dan ekosistem (Vardhan dkk., 2019). Peningkatan kadar timbal dalam tubuh dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan saraf dan anemia (Rabbani dan Mollahosseini, 2019). Oleh karena itu, penting untuk mengendalikan konsentrasi timbal dalam air sesuai dengan standar peraturan, seperti yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 yang menetapkan batas maksimum timbal dalam air adalah 0,03 g/L.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi pencemaran timbal dalam air, termasuk metode ekstraksi pelarut, pengendapan kimia, pemisahan membran dan adsorpsi. Salah satu metode yang menarik adalah adsorpsi, yang dikenal karena keefektifannya, ramah lingkungan, dan biaya yang relatif (El-arish dkk., 2022) (Hamoud dkk., 2023). Pengurangan kontaminasi logam berat dari air dengan metode, ekstraksi pelarut, pengendapan kimia, pemisahan membran, osmosis balik, memiliki kelebihan, namun juga ada kekurangan seperti biaya operasional yang tinggi dan tantangan dalam proses perawatan setelah proses pengurangan kontaminasi. Oleh karena itu, penggunaan teknologi adsorpsi sering

dianggap efektif karena dapat mengurangi logam berat dengan baik dan memiliki material yang dapat dipilih sesuai kebutuhan (Yuna, 2016).

Zeolit merupakan salah satu bahan yang menarik karena harganya terjangkau dan sangat selektif dalam menghilangkan logam berat. Penggunaan zeolit untuk mengurangi kontaminan dalam air telah dilakukan sejak abad ke-19 (Yuna, 2016). Zeolit alam merupakan kristal alumina silika, mempunyai struktur berpori dengan situs aktif. Struktur berpori ini memberikan zeolit alam kemampuan untuk menyerap molekul tertentu seperti ion $Pb(II)$, menjadikannya sebagai adsorben (Side dkk., 2023).

Zeolit alam memiliki permukaan negatif yang cocok untuk mengadsorpsi kation logam, tetapi masih terdapatnya pengotor dalam struktur zeolit sebagai kation penyeimbang dapat mengurangi efisiensi untuk mengadsorpsi, sehingga diperlukan proses aktivasi. Aktivasi merupakan upaya untuk meningkatkan daya serap dan kemampuan tukar ion zeolit alam dengan menghilangkan pengotor yang menempel pada zeolit. Proses aktivasi meningkatkan rasio Si/Al dan ukuran pori zeolit. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia (Hidayah dan Munasir, 2022).

Dalam penelitian (Zubir dkk., 2019) zeolit alam Sarulla diaktivasi dengan HCl 1M untuk meningkatkan luas permukaannya sehingga kemampuan menyerap logam $Pb(II)$ dan $Cd(II)$ juga meningkat. Berdasarkan variasi massa adsorben, kondisi terbaik adalah 0,4 gram, dengan efisiensi penyerapan untuk $Pb(II)$ dan $Cd(II)$ masing-masing 40,51% dan 52,22%. Pada pH 4, efisiensi penyerapan menjadi 41,78% untuk Pb dan 50,75% untuk Cd. Dalam waktu 50 menit $Pb(II)$

mencapai efisiensi maksimum 44,64%, sedangkan Cd(II) mencapai efisiensi 56,92%.

Penelitian lain yang dilakukan (El-arish dkk., 2022) menggunakan zeolit alam teraktivasi basa NaOH 1g/L sebagai adsorben logam Pb(II) dengan metode *Respons Surface Method* (RSM). Kondisi optimal dicapai pada massa adsorben 1,07 g/L, pH 6, dan konsentrasi awal Pb(II) sebesar 240 mg/L dengan persentase adsorpsi sebesar 60,75 %, dan kapasitas adsorpsi sebesar 136,26 mg/g.

Permukaan negatif pada zeolit menyebabkan kecenderungan untuk tidak menyerap anion (ion bermuatan negatif) dengan baik. Air limbah sering mengandung logam berat anionik, orang telah berusaha memodifikasi permukaan zeolit dengan zat organik untuk meningkatkan kemampuannya menyerap ion logam berat anionik. Salah satu metode yang umum adalah menggunakan surfaktan kationik, seperti *Hexadecyltrimethylammonium bromide* atau HDTMA, untuk mengubah muatan permukaan zeolit dari negatif menjadi positif, sehingga lebih efektif dalam menyerap ion logam berat anionik (Chao dan Chen, 2012).

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan tentang modifikasi zeolit dengan HDTMA atau surfaktan kationik lainnya untuk menyerap ion logam yang bersifat anionik (ion logam yang bermuatan negatif), masih sedikit penelitian yang membahas modifikasi zeolit untuk menyerap ion logam yang kationik (positif). Zeolit memiliki pori-pori, tetapi surfaktan seperti HDTMA merupakan molekul besar dan tidak bisa masuk ke dalam pori-pori tersebut sehingga hanya menempel di permukaan luar zeolit. Ketika HDTMA menempel pada permukaan zeolit, ia memberikan muatan positif pada permukaan tersebut, sehingga logam kationik sulit

untuk menggantikan HDTMA di permukaan. Namun, zeolit tetap memiliki muatan negatif di permukaan dalam (Chao dan Chen, 2012).

Penelitian lain dilakukan oleh (Ali dkk., 2011) mengenai modifikasi zeolit ZSM-5 dari abu sekam padi dengan surfaktan TPA-Br, CTAB, dan TBAB-Br dan *n-propyl amine* untuk adsorpsi ion Pb^{2+} . Zeolit ZSM-5 modifikasi TPABr memiliki kemampuan dalam menyerap Pb^{2+} yang paling bagus dibandingkan dengan zeolit modifikasi surfaktan lainnya dengan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 85%. Surfaktan TPA-Br digunakan untuk memodifikasi zeolit karena dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya dengan penambahan luas permukaan.

Dalam penelitian ini zeolit alam diaktivasi dengan asam HCl dan dimodifikasi dengan surfaktan kationik TPA-Br untuk melihat kemampuannya dalam menghilangkan ion logam Pb(II), menggunakan 3 variabel, yaitu pH (3; 6; 9), massa adsorben (0,075; 0,125; 0,225 gram), dan waktu kontak (30; 60; 90 menit). Variabel diolah menggunakan RSM (*Respons Surface Method*). Desain eksperimen didapatkan dari metode *Box-Behnken* (BBD) untuk mengoptimalkan variabel yang digunakan, sebelumnya proses adsorpsi dilakukan dengan pendekatan satu faktor pada satu waktu (OFAT) yang memakan waktu dan mahal. *Respons Surface Method* (RSM) adalah metode matematika dan statistik yang memodelkan dan menganalisis proses dengan banyak variabel, serta mengoptimalkan hasil. Berbeda dengan OFAT, RSM mampu membentuk hubungan antara faktor dan hasil, memberikan cara yang lebih sistematis untuk mengidentifikasi dan mengoptimalkan faktor-faktor penting dalam proses adsorpsi (Beg, 2021).

I.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Memperoleh zeolit alam termodifikasi TPA-Br dan karakternya
2. Menentukan kondisi optimum adsorpsi zeolit termodifikasi TPA-Br terhadap logam Pb(II) berdasarkan variasi pH, massa adsorben, dan waktu kontak menggunakan RSM
3. Menentukan kinetika adsorpsi Pb(II) oleh adsorben zeolit TPA-Br 0,1 M