

## ABSTRAK

Zeolit alam, mineral aluminosilikat dengan struktur berpori dan situs aktif, memiliki potensi besar sebagai adsorben untuk ion Pb(II) dalam aplikasi pengolahan air. Namun, efisiensi adsorpsinya sering terhambat oleh keberadaan pengotor dalam strukturnya. Untuk mengatasi masalah ini, aktivasi dan modifikasi zeolit alam diperlukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi serta mengurangi kandungan pengotor. Penelitian ini fokus pada modifikasi zeolit alam menggunakan surfaktan kationik Tetrapropylammonium bromide (TPA-Br), dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan zeolit dan kapasitas adsorpsinya terhadap ion Pb(II). Zeolit alam diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 2 M dan kemudian dimodifikasi dengan TPA-Br pada konsentrasi 0,01; 0,05; dan 0,1 M. Proses modifikasi melibatkan perendaman zeolit dalam larutan TPA-Br yang dilarutkan dalam air DI selama 24 jam dengan bantuan pengadukan. Karakterisasi dari zeolit alam teraktivasi dilakukan menggunakan teknik XRF, XRD, FTIR, dan GSA, sedangkan karakterisasi zeolit TPA-Br hanya dilakukan dengan FTIR dan GSA. Uji adsorpsi ion Pb(II) dilakukan berdasarkan desain eksperimental Respons Surface Method (RSM) dengan variabel pengujian massa adsorben (0,075; 0,15; dan 0,225 gram), kondisi pH (3; 6; dan 9), serta waktu kontak (30; 60; dan 90 menit). Adsorpsi dilakukan dengan menambahkan zeolit TPA-Br dalam larutan Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> pada pH tertentu dan waktu kontak yang bervariasi. Filtrat dari proses adsorpsi dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) untuk menentukan efisiensi adsorpsi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa zeolit alam memiliki komponen utama SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan rasio Si/Al sebesar 5,96 dan merupakan tipe mordenit berdasarkan hasil uji XRD. Penambahan surfaktan TPA-Br tidak memberikan perubahan signifikan pada spektrum FTIR zeolit, namun kedua jenis zeolit, H-zeolit dan zeolit TPA-Br, teridentifikasi sebagai material mesopori berdasarkan hasil uji GSA. Uji adsorpsi menunjukkan efisiensi adsorpsi tertinggi sebesar 99,83% dan terendah 32%. Analisis RSM mengidentifikasi pH sebagai variabel yang paling berpengaruh terhadap efisiensi adsorpsi. Kondisi optimal yang diperoleh dari RSM adalah pH 6, massa adsorben 0,187 gram, dan waktu kontak 65,8 menit. Efisiensi adsorpsi Pb(II) dengan zeolit TPA-Br pada konsentrasi 0,01; 0,05; dan 0,1 M masing-masing adalah 97,90%; 97,37%; 99,87%, sedangkan tanpa modifikasi TPA-Br adalah 95,19%. Model kinetika adsorpsi yang sesuai dengan data adalah model kinetika orde dua semu dengan nilai konstanta kecepatan  $k_2 = 0,016238$ .

**Kata Kunci :** Zeolit alam, TPA-Br, Adsorpsi, Pb(II), RSM

## ABSTRACT

Natural zeolite, an aluminosilicate mineral with a porous structure and active sites, has great potential as an adsorbent for Pb(II) ions in water treatment applications. However, its adsorption efficiency is often hampered by the presence of impurities in its structure. To overcome this problem, activation and modification of natural zeolites are needed to increase adsorption capacity and reduce impurity content. This research focuses on modifying natural zeolite using the cationic surfactant Tetrapropylammonium bromide (TPA-Br), with the aim of increasing the surface area of the zeolite and its adsorption capacity for Pb(II) ions. Natural zeolite was chemically activated using a 2 M HCl solution and then modified with TPA-Br at a concentration of 0.01; 0.05; and 0.1 M. The modification process involves soaking the zeolite in a solution of TPA-Br dissolved in DI water for 24 hours with the help of stirring. Characterization of activated natural zeolite was carried out using XRF, XRD, FTIR, and GSA techniques, while characterization of TPA-Br zeolite was only carried out using FTIR and GSA. The Pb(II) ion adsorption test was carried out based on the Response Surface Method (RSM) experimental design with test variables of adsorbent mass (0.075; 0.15; and 0.225 grams), pH conditions (3; 6; and 9), and contact time (30 ; 60; and 90 minutes). Adsorption was carried out by adding TPA-Br zeolite in a Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> solution at a certain pH and varying contact times. The filtrate from the adsorption process was analyzed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) to determine the adsorption efficiency. The characterization results show that natural zeolite has the main components SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a Si/Al ratio of 5.96 and is a mordenite type based on the XRD test results. The addition of TPA-Br surfactant did not provide significant changes to the FTIR spectrum of zeolite, however both types of zeolite, H-zeolite and TPA-Br zeolite, were identified as mesoporous materials based on the GSA test results. The adsorption test showed the highest adsorption efficiency was 99.83% and the lowest was 32%. RSM analysis identified pH as the variable that most influences adsorption efficiency. The optimal conditions obtained from RSM were pH 6, adsorbent mass 0.187 grams, and contact time 65.8 minutes. Pb(II) adsorption efficiency with TPA-Br zeolite at a concentration of 0.01; 0.05; and 0.1 M are 97.90% respectively; 97.37%; 99.87%, while without TPA-Br modification it is 95.19%. The adsorption kinetic model that fits the data is a pseudo second order kinetic model with a speed constant value  $k_2 = 0.016238$

**Keywords:** Natural Zeolite, TPA-Br, Adsorption, Pb(II), RSM