

Pengujian Zeolit Alam Mordenit Sebagai Penjerap Proses Pendegradasian Kandungan Amonium di dalam Air Tambak

Mordenite Natural Zeolite Testing as Adsorbent for the Ammonium Degradation Process in Fishpond Water

NURYOTO, TEGUH KURNIAWAN, INDAR KUSTININGSIH

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jln. Raya Jendral Sudirman Km.3 Cilegon, Banten, Indonesia
Email: nuryoto@untirta.ac.id

ABSTRACT

Indonesia has an abundant quantity of natural zeolites that have not yet been utilized maximally. On the other hand, fishpond farmers have a problem regarding the presence of ammonium in the fishpond water which will negatively impact to survival of fish, especially small fish. To solve this problem, this research was utilizing natural zeolite to degrade ammonium in the fishpond water. This research aimed to test mordenite natural zeolite from Bayah as an adsorbent to collaborate some variables impact to reach more maximal adsorption. The variables that were used to be observed were: mordenite natural zeolite from Bayah as an adsorbent which has been activated by 1-7 N H₂SO₄ and the other was without activation, ammonium concentration of 80-800 ppm, the particle size of adsorbent of 80 and 150 mesh, stirring speed of 600 and 800 rpm, and without stirring by duration adsorption time of 60 minutes. The research results showed that mordenite natural zeolite after activated was able to adsorb of 100% ammonium, while for the mordenite natural zeolite from Bayah without stirring was of 80%, by the same absorption time. These results will give significant benefits for fishpond farmers to increase their productivity because of the increase in fish survival.

Keywords: adsorption, adsorbent, zeolite, ammonium

ABSTRAK

Kandungan zeolit alam di Indonesia cukup melimpah dan belum termanfaatkan secara maksimal. Pada sisi lain petani tambak dihadapkan pada masalah terdapatnya kandungan amonium di dalam air tambak, yang akan berdampak negatif bagi keberlangsungan hidup ikan, terutama ikan yang masih kecil. Penelitian ini mencoba memanfaatkan zeolit alam guna mendegradasi kandungan amonium dalam air tambak. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian terhadap zeolit alam mordenit dari Bayah sebagai adsorben, baik dilakukan dengan pengadukan maupun tanpa pengadukan, serta mengkolaborasi beberapa variabel yang berpengaruh agar hasil adsorpsi lebih maksimal. Observasi dilakukan dengan zeolit alam mordenit dari Bayah yang telah diaktivasi dengan 1-7 N H₂SO₄ maupun tanpa aktivasi, rentang konsentrasi larutan amonium 80-800 ppm, ukuran partikel adsorben 80 dan 150 mesh, kecepatan pengadukan 600 dan 800 rpm, dan tanpa pengadukan serta lamanya waktu penyerapan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan hasil yang sangat baik, dan secara umum zeolit alam mordenit Bayah teraktivasi telah mampu melakukan adsorpsi amonium sebesar 100%, sedangkan untuk zeolit alam mordenit Bayah tanpa pengadukan sebesar 80% pada waktu adsorpsi yang sama.

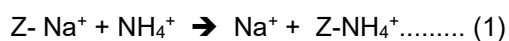
Kata kunci: adsorpsi, adsorben, zeolit, amonium

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Program ketahanan pangan nasional dan peningkatan sektor-sektor yang mampu meningkatkan produktifitas pangan perlu ditingkatkan, baik nabati maupun hewani. Ikan sebagai salah satu sumber pangan yang kaya akan protein perlu ditingkatkan produktivitasnya. Senyawa amonium yang terdapat pada air tambak dapat menyebabkan kematian pada ikan^(1,2) khususnya ikan kecil-kecil yang notabene mempunyai daya tahan tubuh yang masih lemah, sehingga sedikit menghambat pada produktivitas ikan tersebut. Amonium cenderung mereduksi kandungan oksigen di dalam air, karena dengan adanya amonium, oksigen akan bereaksi membentuk nitrat dan nitrit^(1,3), dan kondisi ini akan berimbas pada penurunan oksigen terlarut di dalam air tambak. Selain itu amonium juga merupakan zat yang sangat berbahaya dan beracun bagi makhluk hidup⁽²⁾. Untuk itu penelitian ini mencoba melakukan studi pengujian pengeliminasian senyawa amonium dalam air menggunakan sumber daya alam lokal Indonesia berupa zeolit alam.

Struktur zeolit alam, dengan beberapa silika yang bermuatan 4^+ digantikan dengan aluminium yang bermuatan 3^+ , berdampak pada defisiensi muatan positif⁽⁴⁾. Defisiensi berpengaruh pada interaksi secara lemah antara permukaan zeolit alam dengan kation alkali (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})⁽⁴⁾. Interaksi yang lemah dari kation dan permukaan zeolit, menyebabkan zeolit alam dapat dengan mudah dipertukarkan dengan ion lain dalam suatu larutan. Tetapi keterbatasan luas permukaan kontak dan ukuran pori yang relatif kecil merupakan suatu permasalahan tersendiri dalam proses pertukaran tersebut. Secara prinsip proses adsorpsi amonium (NH_4^+) oleh zeolit alam dengan gugus aktif Na^+ adalah sebagai berikut⁽⁵⁾:



Hasil penelitian adsorpsi amonium membuktikan bahwa zeolit alam dengan perlakuan awal menghasilkan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan zeolit alam tanpa perlakuan awal. Zeolit alam tanpa perlakuan awal hanya mampu menghasilkan persentase removal amonium sebesar 30%, sedangkan dengan perlakuan awal menggunakan 1, 3, dan 6 M HCl menghasilkan persentase removal amonium berturut-turut sebesar 50, 70, dan 90%⁽⁵⁾. Hasil karakterisasi zeolit alam terhadap zeolit alam tanpa perlakuan awal dan dengan perlakuan awal 6 N H_2SO_4 , ternyata terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada luas permukaan zeolit alam ketika dilakukan perlakuan awal, yaitu dari 55,544 menjadi

139,306 m^2/g . Secara visual hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) juga menunjukkan zeolit alam tanpa perlakuan awal mengandung banyak pengotor, dengan warna yang relatif gelap dibandingkan dengan perlakuan awal⁽⁶⁾. Hasil adsorpsi amonium dan hasil karakterisasi zeolit alam yang telah dilakukan^(5,6) menjadi gambaran secara tidak langsung bahwa perlakuan awal yang dilakukan akan mampu meningkatkan proses difusi dan adsorpsi yang terjadi. Pada pengamatan yang lain, dengan perlakuan awal menggunakan larutan yang berbeda, yaitu larutan HCl dan H_2PO_4 , sementara adsorbat yang digunakan mempunyai kadar amonium sebesar 400 mg/l. Hasilnya, persentase removal amonium sebesar 65% untuk perlakuan awal menggunakan larutan HCl, dan 58% untuk perlakuan awal menggunakan larutan H_2PO_4 . Hal ini menunjukkan bahwa rekayasa zeolit alam dengan larutan asam kuat berupa asam klorida (HCl) lebih baik dampaknya dibandingkan menggunakan asam lemah H_2PO_4 ⁽⁷⁾. Berdasarkan hasil penelitian di atas, pada penelitian ini dicoba menggunakan pengaktifasi H_2SO_4 , harapannya proses adsorpsi akan berjalan dengan optimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian terhadap zeolit alam mordenit dari Bayah sebagai adsorben, baik dilakukan dengan pengadukan maupun tanpa pengadukan, serta mengkolaborasi beberapa variabel yang berpengaruh agar hasil adsorpsi lebih maksimal. Pemakaian zeolit alam Bayah dimaksudkan menggali potensi Sumber daya alam lokal yang belum tergarap secara maksimal.

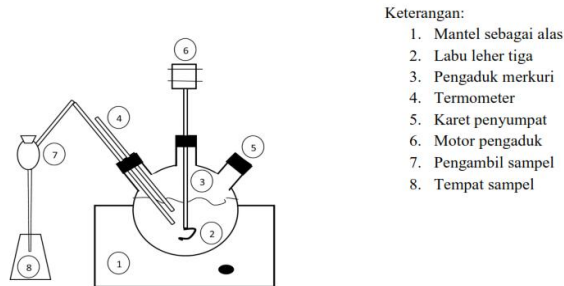
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan merupakan larutan amonium (adsorbat) dibuat dengan melarutkan amonium hidroksida ke dalam aquades dengan konsentrasi (80-800 ppm). Adsorben/penjerap yang digunakan di dalam proses adsorpsi merupakan zeolite alam mordenit dari Bayah-Banten (ZAB), yang sebelumnya telah diaktivasi menggunakan 1-7 N H_2SO_4 . Untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif, dan sekaligus sebagai pembandingan dicoba pula menggunakan ZAB yang telah diaktivasi dengan 1 N NaOH. Adapun metode pengaktifasian atau perlakuan awal mengacu pada penelitian sebelumnya, dan pembilasan dengan akuades sebanyak 4 kali dan ditiriskan, lalu dioven selama 2 jam pada suhu 110°C ^(6,8).

2.2 Metode

Percobaan dilakukan menggunakan peralatan yang sederhana yaitu labu leher tiga (lihat Gambar 1) yang dilengkapi dengan pengaduk merkuri dan pengambil sampel.



Gambar 1. Skema peralatan adsorpsi amonium menggunakan ZAB

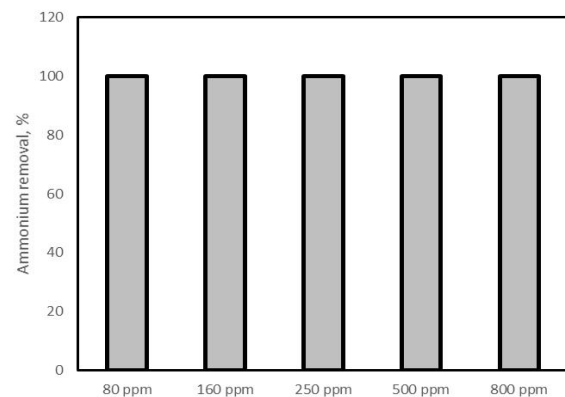
Larutan amonium dengan kadar tertentu (80-800 mg/l), yang telah dianalisis sebelumnya menggunakan titrasi volumetrik 0,001 N HCl, dengan volume tertentu (200 ml) dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Adsorben yang telah diaktivasi dengan asam (1-7 N H₂SO₄) atau basa (1 N NaOH), dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan konsentrasi yang telah ditentukan (1 gram zeolit alam Bayah: 200 larutan amonium), dan dengan ukuran partikel adsorben yang telah ditentukan pula (80 dan 150 mesh). Selanjutnya pengaduk merkuri dijalankan dengan kecepatan yang telah ditetapkan (600 dan 800 rpm). Sampel diambil setelah adsorpsi berjalan 60 menit untuk dianalisis amonium hidroksida sisa menggunakan menggunakan cara yang sama yaitu titrasi volumetrik 0,001 N HCl. Untuk uji coba pengujian pengaruh pengaktivasi asam dan basa guna membandingkan dampaknya, sampel diambil setiap 15 menit guna menentukan amonium hidroksida sisa sampai waktu adsorpsi 60 menit. Berbeda halnya untuk pengujian pengaruh pengadukan dan tanpa pengadukan, observasi dilakukan dengan waktu adsorpsi yang lebih singkat yaitu 5 menit, dengan sampel diambil setiap 1 menit sekali. Kesemuanya ini dilakukan guna mendapatkan data yang lebih valid dan dan komprehensif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh konsentrasi adsorbat amonium

Pada Gambar 2 nampak bahwa persentase removal untuk semua variasi konsentrasi adsorbat yaitu dari 80 - 800 ppm adalah sebesar 100%. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa ZAB mampu bekerja dengan baik sebagai adsorben. Terbukti proses penghilangan kandungan amonium berjalan dengan waktu yang singkat yaitu hanya 60 menit. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa proses difusi

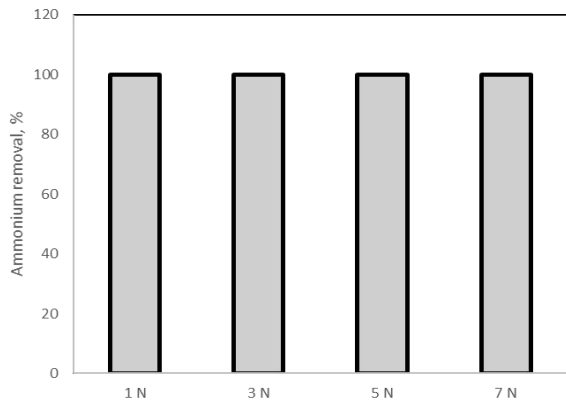
amonium ke sisi aktif ZAB berjalan dengan baik, karena pada prinsipnya proses adsorpsi akan terjadi bilamana molekul dari adsorbat (amonium) dapat mendifusi masuk ke sisi aktif dari adsorben (ZAB). Ketika ukuran molekul adsorbat lebih besar dari ukuran pori adsorben, maka proses adsorpsi tidak mungkin terjadi, dan konsentrasi adsorbat (amonium) di dalam larutan akan cenderung tetap (tidak terjadi penurunan konsentrasi). Jika mengacu hasil kajian yang dilakukan oleh Nuryoto, dkk.⁽⁶⁾, ternyata ukuran pori zeolit mordenit Bayah mempunyai ukuran pori jauh lebih besar dibandingkan ukuran kolekul amonium yaitu 20 angstrom (ZAB yang diaktivasi dengan 6 N H₂SO₄), sedangkan ukuran molekul amonium hanya berjari-jari 1,045 angstrom⁽⁹⁾. Kondisi tersebut yang menyebabkan amonium terserap dengan baik oleh ZAB.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi adsorbat pada pengadukan 600 rpm, ukuran ZAB 80 mesh, dan konsentrasi aktivasi ZAB 9 N H₂SO₄

3.2 Pengaruh konsentrasi aktivasi H₂SO₄ pada ZAB

Untuk mengetahui seberapa efektif dan efisien proses aktivasi ZAB, dilakukan observasi konsentrasi pengaktif H₂SO₄ terhadap pengaruh performa ZAB dalam mengadsorpsi amonium. Gambar 3 menunjukkan bahwa pada aktivasi 1 – 7 N H₂SO₄ ZAB mampu menyerap seluruh amonium (dengan kadar 800 ppm) yang ada di dalam air dengan sempurna yang ditunjukkan oleh persentase removal yang mencapai 100%. Tetapi jika mengacu pada efisiensi penggunaan bahan kimia dan capaian kinerja yang sama, maka konsentrasi aktivasi asam H₂SO₄ yang paling efisien adalah pada 1 N H₂SO₄.



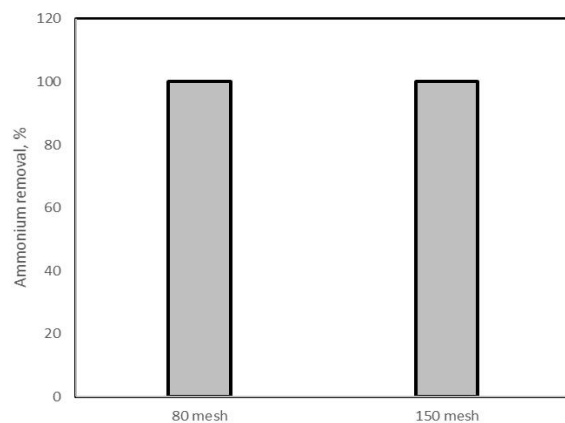
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi pengaktivasi ZAB, dengan pengadukan 600 rpm, ukuran ZAB 80 mesh, dan konsentrasi adsorbat amonium 800 ppm

Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Soetardji dkk.⁽⁵⁾, menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan H₂SO₄ berdampak lebih baik terhadap kinerja adsorben dibandingkan menggunakan HCl. Pada penelitian ini amonium terserap sempurna pada semua konsentrasi pengaktivasi asam sulfat yaitu 100%, sedang pada penelitian Soetardji dkk.⁽⁵⁾, hanya 50, 70, dan 90% untuk konsentrasi pengaktivasi 1, 3, dan 6 N HCl. Dari hasil kajian pustaka terhadap karakteristik zeolit yang dilakukan terhadap rasio silika/alumunium (Si/Al), ternyata rasio Si/Al yang dihasilkan dengan pengaktivasi H₂SO₄ lebih tinggi dibandingkan HCl yaitu masing – masing 22,49 dan 15,64, yang dilakukan masing-masing 1 normalitas⁽¹⁰⁾. Setelah dilakukan uji luas permukaan, ternyata peningkatan Si/Al berdampak pada peningkatan luas permukaan kontak dari zeolit alam cukup signifikan yaitu dari 117, 30 menjadi 139,99 m²/g yaitu dari rasio Si/Al 7,62 menjadi 8,8⁽¹¹⁾. Perbedaan luas permukaan tersebut kemungkinan menjadi penyebab perbedaan hasil adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini dan penelitian Soetardji dkk.⁽⁵⁾, karena semakin besar luas kontak antara adsorben (zeolite alam) dan adsorbat (amonium) secara otomatis semakin besar adsorpsi yang terjadi.

3.3 Pengaruh Ukuran ZAB

Ukuran diameter adsorben mempunyai peranan yang cukup penting terutama pada difusi internalnya guna amonium masuk ke sisi aktif dari ZAB. Ketika ukuran katalisator diperkecil, maka jarak dari pusat aktif ke bagian luar adsorben akan semakin kecil ($\Delta r \ll$). Kondisi ini akan memperkecil tahanan difusi internal, sehingga laju transfer massa internal akan meningkat⁽¹²⁾. Dilihat dari Gambar 4, ukuran partikel adsorben antara 80 dan 150 mesh menghasilkan persentase removal amonium

yang sama, yaitu 100%. Ini artinya bahwa laju difusi amonium ke sisi aktif ZAB antara ukuran 80 mesh (0,17 mm) dan 150 mesh (0,10 mm) tidak jauh berbeda, sehingga degradasi amonium yang dihasilkan sama. Kondisi ini menunjukkan bahwa tahanan internal pada laju difusi 80 dan 150 mesh sudah sangat kecil, sehingga memperkecil ukuran partikel tidak lagi berpengaruh⁽¹³⁾. Hasil pada penelitian ini didukung dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Pereira dkk.⁽¹³⁾, walaupun dengan jenis kajian yang berbeda, tetapi keduanya mempunyai kesamaan yaitu terjadinya difusi internal sebelum terjadi interaksi adsorpsi maupun reaksi kimia. Pada uji reaksi asam laktat dan etanol yang dilakukan⁽¹³⁾, hasil percobaan menunjukkan bahwa hasil produk reaksi yang cenderung sama ketika ukuran partikel katalisator diturunkan di bawah 0,5 mm. Ini memberi gambaran bahwa ukuran partikel baik itu adsorben maupun katalisator di bawah 0,5 mm, tidak lagi berdampak terhadap unjuk kerjanya karena tahanan difusi internal sudah sangat kecil.

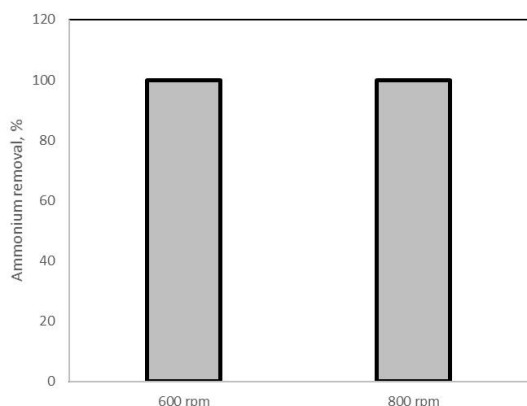


Gambar 4. Pengaruh ukuran partikel adsorben ZAB, dengan pengadukan 600 rpm, perbandingan dan konsentrasi adsorbat amonium 800 ppm

3.4 Pengaruh Kecepatan pengadukan

Berbeda dengan ukuran adsorben, pengadukan berpengaruh pada turbulensi fluida dan mempengaruhi tahanan dan kecepatan difusi eksternal. Pada proses adsorpsi yang melibatkan adsorben berupa padatan, difusi eksternal dan internal saling mempengaruhi. Jika dilihat dari Gambar 5, peningkatan kecepatan pengadukan menghasilkan persentase removal amonium yang sama. Hasil yang sama ditunjukkan oleh Gambar 4, bahwa pada pengadukan 600 rpm tahanan transfer massa eksternal sudah bisa diabaikan sehingga penambahan kecepatan menjadi 800 rpm tidak mempengaruhi proses adsorpsi. Hasil tersebut menyerupai hasil penelitian yang dilakukan oleh Nuryoto dkk.⁽⁶⁾ pada pembuatan solketal, bahwa peningkatan

kecepatan pengadukan tidak berdampak terhadap produk yang dihasilkan. Kecepatan pengadukan di atas 600 rpm konversi reaktan yang dihasilkan tidak berubah yaitu tetap 61%. Hasil tersebut diperkuat lagi oleh penelitian yang dilakukan oleh Ali dan Merchant⁽¹⁴⁾, yang juga menunjukkan hasil yang serupa.



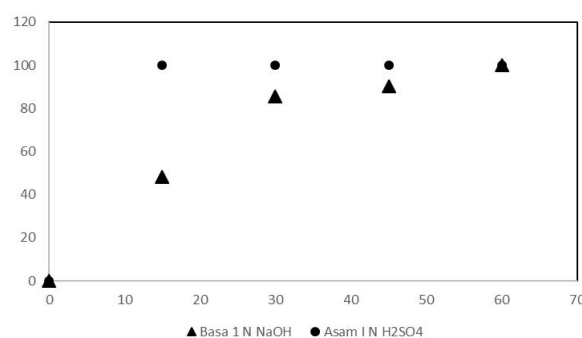
Gambar 5. Pengaruh kecepatan pengadukan, ukuran partikel 80 mesh, dan konsentrasi adsorbat amonium 800 ppm

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh zat pengaktivasi terhadap performa adsorben, dicoba dilakukan kajian ZAB yang diaktivasi dengan asam sulfat dan ZAB yang diaktivasi dengan basa natrium hidroksida. Komparasi dilakukan pada konsentrasi aktivasi yang sama yaitu 1 N H₂SO₄ dan 1 N NaOH. Pada dasarnya perbedaan perlakuan tersebut juga secara mekanisme berbeda dampaknya terhadap susunan dari zeolit alam itu sendiri. Pengaktivasi menggunakan asam yang dilakukan akan melepaskan alumunium⁽¹⁵⁾, tetapi penggunaan basa akan melepaskan silika yang terkandung di dalam zeolit alam⁽¹⁶⁾. Hasil aktivasi menggunakan asam sulfat menghasilkan persentase removal amonium yang lebih baik dibandingkan aktivasi menggunakan basa natrium hidroksida (lihat Gambar 6). Data tersebut menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan asam memberikan performa lebih baik dibandingkan dengan basa. Untuk mencapai persentase removal amonium 100%, aktivasi menggunakan basa baru tercapai pada waktu adsorpsi ke 60 menit, sementara pada asam tercapai pada menit ke 15. Jika mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Akgul dan Karabakan⁽¹⁶⁾, dan Tehrani dan Salari⁽¹⁷⁾ dengan menggunakan zeolite alam jenis klinoptilolit, perlakuan dengan menggunakan asam dan basa menghasilkan luas permukaan yang sama, yaitu 36 m²/g. Hal ini memperkuat hasil pada Gambar 6 yang menunjukkan bahwa luas permukaan yang sama dari hasil perlakuan yang berbeda mempunyai kemampuan adsorpsi yang sama yaitu mampu menyerap sampai 100%,

tetapi waktu yang diperlukan berbeda. Perbedaan waktu pencapaian kemungkinan besar adalah perbedaan tahanan difusi dari keduanya, yang mana tahanan difusi internal pada perlakuan asam jauh lebih kecil dibanding dengan perlakuan dengan basa. Hal ini kemungkinan disebabkan perbedaan ukuran pori di antara keduanya. Secara mendasar sangat tidak mungkin untuk NaOH menghilangkan natrium pada zeolit yang merupakan pengotor yang menutupi pori, sementara jika menggunakan asam maka natrium akan tereliminasi dengan baik. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa kandungan senyawa natrium dalam bentuk Na₂O di dalam zeolit klinoptilolit hasil perlakuan dengan perlakuan asam tereduksi hampir 3 kalinya dibandingkan dengan menggunakan basa. Kandungan Na₂O sisa yang terdapat pada zeolit klinoptilolit (Tabel 1) yaitu 0,58 % untuk perlakuan menggunakan asam dan 1,40 % untuk perlakuan menggunakan basa. Hal ini diduga menjadi faktor penyebab perbedaan waktu yang diperlukan untuk mencapai persentase removal amonium yang sama.

Tabel 1. Hasil pengukuran pori zeolit alam menggunakan asam dan basa

Nama Zeolit alam	Luas permukaan, m ² /g	Kandungan Na ₂ O, %	Referensi
Klinoptilolit Iranian, 1 N HCl	36	0,58	(13)
Klinoptilolit Turki, 1N NaOH	36	1,4	(14)

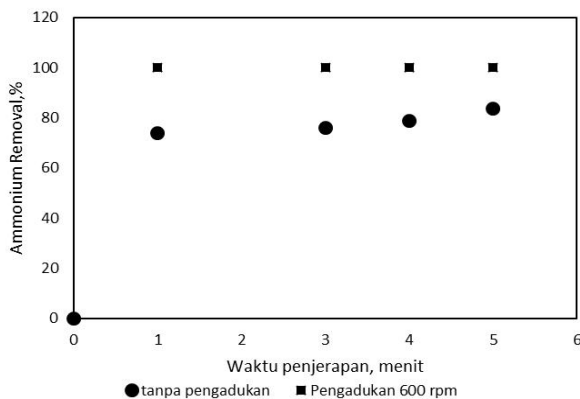


Gambar 6. Pengaruh zat pengaktivasi ZAB terhadap performa adsorpsi, dengan konsentrasi aktivasi 1 N H₂SO₄ dan 1 N NaOH, dan larutan amonium 800 ppm

Berdasarkan hasil penelitian ini (Gambar 6), amonium telah terserap habis pada menit ke 15 ketika dilakukan aktivasi dengan asam sulfat, hal ini lebih cepat dibandingkan waktu yang

diperlukan jika aktivasi menggunakan NaOH yang memerlukan waktu 60 menit.

Untuk mengetahui pengaruh pengadukan terhadap amonium yang terserap dilakukan penelitian yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan dampak pengadukan dan tanpa pengadukan, dengan konsentrasi aktivasi 1 N H₂SO₄, dan amonium 800 ppm

Dari data membuktikan bahwa dengan ZAB yang telah diaktivasi menggunakan asam dan pengadukan 600 rpm, amonium telah habis terserap pada menit ke 1 (Gambar 7).

Dari hasil hasil penelitian ini menunjukkan bahwa difusi amonium ke sisi aktif ZAB yang telah diaktivasi dengan asam jauh sangat cepat jika dibandingkan dengan basa NaOH (Gambar 6). Pengadukan memberikan hasil yang signifikan terhadap pencapaian persentase maksimum removal amonium (100%) hanya dalam waktu 1 menit, dibandingkan dengan tanpa pengadukan yang hasil persentase removal amonium berturut-turut adalah 74,03; 76,16; 78,85; dan 83,65% yang berturut-turut dicapai pada menit pertama, ke 2,3,4, dan 5.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan terhadap variabel-variabel yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa zeolite alam mordenit Bayah (ZAB) mempunyai kinerja yang baik, dan dapat dijadikan sebagai adsorben alternatif yang efektif dan efisien. Hasil adsorpsi secara umum menunjukkan bahwa zeolit alam teraktivasi dengan pengadukan mampu mengeliminasi amonium sebesar 100% dalam waktu 1 menit, sedangkan tanpa pengadukan hanya dapat mengeliminasi amonium sebesar 80%, dalam waktu 5 menit.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Pascasarjana Universitas

Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mendanai penelitian ini melalui skim Hibah Internal Dosen Madya melalui DIPA Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah nomor: T/311/UN43.13/PT.01.03/2019

DAFTAR PUSTAKA

1. YSi Environmental. (2010). Understanding Ammonia in Aquaculture Ponds, YSI inc.
2. Hargreaves, J.A. Craig, S., & Tucker, C.S. (2004). Managing Ammonia in Fish Ponds, southern Regional Aquaculture Center No. 4603
3. Djokosetiyanto, D, Sunarma A, dan Widanari. (2006). Perubahan Ammonia (NH₃-N) dan Nitrat (NO₃-N) Pada Media Pemeliharaan Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*) di dalam Sistem Resirkulasi, *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 5 (1).
4. Vaughan, D.E.W. (1978). Properties of Natural Zeolites dalam *Is Fatihan Jurnal Logika*, Volume 4 (5) 2000
5. Soetardji, J.P., Claudia, J.C., Hsu Ju Y., Hriljac J.A., Yu Chen T., Soetaredjo, F.E., Satoso S.P. Kurniawan A., & Ismadji S. (2015). Ammonia removal from water using sodium hydroxide modified zeolite mordenite, *Journal of Royal Society of Chemistry advance*, (5), 83689-83699.
6. Nuryoto, Sulsityo, H., Sudiawan, W.B., & Perdana, I. (2017). Peningkatan Unjuk Kerja Katalisator Zeolit Alam Bayah pada Reaksi Katalisis Gliserol, *Jurnal Reaktor*, Volume 17 Nomor 1 Maret 2017, 9-16.
7. Mazloomi F., & Jajali M. (2016). Amonium removal from Aqueous solutions by natural Iranian zeolite in the presence of organic acids, cations and anions, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (4), 1664-1673.
8. Kurniawan, T., Muraza, O., Bakare, I. A., Sanhoob, M. A., & Al_Amer, A.M. (2018). Isomerization of n-Butane over Cost-Effective Mordenite Catalysts Fabricated via Recrystallization of Natural Zeolites", *Journal of Industrial and Engineering Chemical Research* 57 (6), 1894-1902.
9. Rhaska, G., & Zainul, R (2019). Analisis Molekular dan Transpor Ion Amonium Klorida, Universitas Negeri Padang.
10. Kasim, R. (2010). Desain Esterifikasi menggunakan Katalis Zeolit pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) melalui Metode Dua Tahap Esterifikasi-Transesterifikasi, Tesis Sekolah Pascasarjana Intitut Pertanian Bogor.

11. Nuryoto, Sulsityo, H., Sudiawan, W.B., & Perdana, I. (2016). Modifikasi Zeolit Alam Mordenit Sebagai Katalisator Katalisasi dan Esterifikasi", *Jurnal Reaktor*, Volume 16 Nomor 2 Juni 2016, hal. 72-80.
12. Fogler, S.H. (2006). *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 4 Edition Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences.
13. Pereira, C.S.M, Pinho, S.P., Silva, V. M.T.M., & Rodrigues, A.E. (2008). Thermodynamic Equilibrium and Reaction Kinetics for the Esterification of Lactic acid with Ethanol Catalyzed by Acid Ion-Exchange Resin, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, 1453-1463.
14. Ali, H.S., & Merchant, S.Q. (2009). Kinetic Study of Dowex 50 Wx8-Catalyzed Esterification and Hydrolysis of Benzyl Acetate, *Ind. Eng. Res.*, ACS Publications.
15. Lestari, D.Y. (2010). Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara, *Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, Yogyakarta.
16. Akgul, M & Karabakan, A. (2011). Promoted dye Adsorption Performance Over Desilicated Natural Zeolite, Microporous and Mesoporous Materials, Vol. 145, 157-164.
17. Tehrani, R.M.A & Salari, A.A. (2005). "The studying of Dehumidifying of Carbon Monoxide and Ammonia Adsorption by Iranian Natural Clinoptilolite Zeolite, *Applied Surface Science* 252, Science Direct, 866-870.