



PENGARUH VARIASI TEMPERATUR KALSINASI ZEOLIT ALAM TERHADAP KEMAMPUAN ADSORPSI LIMBAH FENOL

Lailiy Tazkiyatul Afidah*, Khamidinal

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971
Email: qaishara19954627@gmail.com*

Abstrak. Aktivasi zeolite alam dengan kalsinasi berbagai temperature telah dilakukan. Zeolite alam dimanfaatkan sebagai adsorben penurunan limbah fenol. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik zeolit alam variasi temperatur kalsinasi, temperatur kalsinasi zeolit alam terhadap kemampuan optimum adsorpsi limbah fenol, model isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi limbah fenol pada zeolit alam terkalsinasi, dan karakteristik zeolit alam setelah proses adsorpsi limbah fenol Zeolit alam dipreparsi, diaktivasi dengan kalsinasi variasi temperatur, dan diaplikasi sebagai adsorben limbah fenol. Variasi temperatur kalsinasi digunakan adalah 400°C, 450°C, dan 500°C. Karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD pada zeolit alam sebelum kalsinasi, zeolit alam kalsinasi, dan zeolit alam setelah adsorpsi. Model isoterm adsorpsi ditentukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich dan kinetika adsorpsi didasarkan pada kinetika orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD zeolite alam sebelum kalsinasi, 2 θ merefleksikan intensitas tajam pada daerah 2 θ = 9,82°; 13,46°; 19,69°; 22,35°; 23,15°; 25,68°; 36,34°; dan 27,74° menunjukkan karakteristik zeolit alam modernit. Spektra FTIR zeolit alam sebelum kalsinasi diamati pada bilangan gelombang 300 sampai 4000 cm⁻¹ menunjukkan rentangan simetri O-Al-O atau O-Si-O pada internal tetrahedral yang ditandai munculnya puncak pada bilangan gelombang 650-720 cm⁻¹. Hasil karakterisasi XRD zeolit alam terkalsinasi tidak mengalami perubahan dengan puncak refleksi sebelum kalsinasi. Spectra IR zeolite alam terkalsinasi menunjukkan pergeseran ke bilangan gelombang karena proses dealuminasi. Peningkatan temperatur kalsinasi zeolit alam meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam dengan kemampuan adsorpsi tertinggi zeolit alam terjadi pada temperatur kalsinasi 450 °C dan konsentrasi awal fenol 6 ppm. Adsorpsi zeolit alam terhadap fenol mengikuti model isoterm Langmuir dan mengikuti kinetika reaksi orde satu, serta tidak merubah struktur zeolit alam. Proses adsorpsi yang terjadi secara fisik antara zeolit alam dan limbah fenol.

Kata kunci: temperatur, kalsinasi, zeolit, adsorpsi, fenol.

This publication is licensed under a



Pendahuluan

Limbah merupakan hasil samping atau buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri besar maupun rumah tangga yang tidak dikehendaki dan membahayakan makhluk hidup dan lingkungan di sekitarnya. Fenol merupakan limbah berbau khas dan beracun serta korosif terhadap kulit (menimbulkan iritasi). Apabila terminum akan menimbulkan rasa sakit dan merusak pembuluh darah sehingga menyebabkan gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limpa. Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap dan pada konsentrasi nilai tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan. Berdasarkan kategori tersebut, fenol digolongkan sebagai Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Penanganan terhadap limbah buangan yang mengandung fenol selama ini dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan arang aktif, silika gel dan zeolit.

Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral [SiO₄]⁴⁻ dan [AlO₄]⁵⁻ yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa. Zeolit alam terbentuk dari reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dan bersifat rhyiolitik dengan air pori atau air meteorik. Muatan listrik yang dimiliki oleh kerangka zeolit, baik yang terdapat dipermukaan maupun di dalam pori menyebabkan zeolit dapat

berperan sebagai penukar kation, adsorben, dan katalis. Zeolit alam bercampur dengan mineral lain seperti felspar, sodalit, nephelit dan leusit (Said dkk., 2008) dan mengandung banyak pengotor lainnya sehingga memiliki kualitas yang rendah, sehingga kemampuan adsorpsi zeolit menjadi rendah (Udyani dan Wulandari, 2014). Berbagai peneliti berupaya untuk meningkatkan kualitas zeolit alam dengan melakukan aktivasi.

Penelitian untuk mengaktivasi zeolit alam telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Udyani dan Wulandari (2014) melakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh konsentrasi H₂SO₄ terhadap kemampuan zeolit alam dalam proses pemurnian biodiesel, dan mengetahui pengaruh suhu pada proses aktivasi zeolit terhadap kemampuan zeolit. Aktivasi zeolit alam tersebut berdampak pada peningkatan luas permukaan zeolit. Said dkk. (2008) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh temperatur karbonisasi dan konsentrasi zat pengaktif asam fosfat (H₃PO₄) terhadap daya adsorpsi zeolit. Hasil menunjukkan bahwa aktivasi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam. Kedua penelitian tersebut mengkaji aktivasi zeolit dengan metode fisika dan kimia. Kajian aktivasi zeolit yang hanya dilakukan dengan metode fisika pernah dilakukan oleh Menad dkk. (2016). yaitu aktivasi zeolit LTA (*Lind Type A*) melalui kalsinasi pada temperatur 300 °C sampai 1300 °C. Hasil menunjukkan bahwa temperatur kalsinasi mempengaruhi luas permukaan, volume mikro-meso-pori dan jumlah zeolit akhir

namun mempertahankan distribusi ukuran pori yang sama. Selain itu, kalsinasi juga meningkatkan luas pori spesifik dan volume pori zeolit.

Aktivasi fisika yaitu kalsinasi zeolit alam diharapkan mampu meningkatkan sifat fisik dan kimia zeolit alam sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit. Kajian temperatur kalsinasi diharapkan dapat memberikan informasi mengenai temperatur yang optimum untuk mendapatkan luas spesifik zeolit yang paling besar sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam. Penelitian ini akan mengkaji mengenai pengaruh variasi temperature terhadap adsorpsi limbah fenol.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta pada bulan Oktober 2016 hingga bulan Juli 2017. Karakterisasi nanoselulosa meliputi analisis gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Analisis menggunakan XRD digunakan untuk mengetahui kristalinitas dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta. analisis morfologi meliputi bentuk dan ukuran nanoselulosa menggunakan SEM dilakukan di Laboratorium LIPI Wonosari, Gunung Kidul Yogyakarta.

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu zeolit alam, gas N₂, reagen Folin, larutan jenuh natrium karbonat, HCl dan akuades.

Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat-alat Seperangkat alat gelas kimia, oven, neraca analitik, mortar dan lumpang porselen, *furnance*, bejana teflon, *hot plate*, kertas saring *whatman*, erlenmeyer, corong gelas, gelas ukur, abu ukur, cawan arloji, botol, timbangan, pipet volum FT-IR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan *Spektrofotometer UV-Vis*.

Metode Penelitian

1. Preparasi Zeolit Alam

Zeolit alam digerus, kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran 100 mesh kemudian ditimbang sebanyak 30 gram, dicuci dengan HCl dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 100-110°C 30 menit. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD, dan Spektrofotometer FT-IR.

2. Kalsinasi zeolit alam

Zeolit alam dikalsinasi dengan cara menimbang 1 gram zeolit, lalu dimasukkan ke dalam 10 mL HCl 1 N, direndam selama 24 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan akuades sampai netral. Endapan dipanaskan menggunakan *furnace* dengan berbagai variasi temperatur yaitu 400°C; 450°C dan 500°C selama 3 jam. Ketiga sampel zeolit alam hasil kalsinasi dikarakterisasi menggunakan XRD, dan Spektrofotometer FT-IR.

3. Percobaan Adsorpsi larutan fenol simulasi dengan variasi konsentrasi awal fenol

Limbah fenol simulasi dari larutan induk diencerkan sehingga memiliki konsentrasi 6 ppm; 8 ppm; dan 10 ppm. Masing masing konsentrasi diambil 50 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 ml, dari masing-masing konsentrasi di masukkan 3 gr zeolit alam sebelum dikalsinasi dan zeolit alam yang telah dikalsinasi dengan tiga 3 variasi temperatur, kemudian didiamkan pada *water bath* dan diatur pada temperatur kamar dan diamati setiap waktu tertentu. Filtrat diambil dan digunakan untuk analisis penentuan jumlah fenol dalam filtrat dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

4. Percobaan Adsorpsi larutan fenol simulasi variasi waktu kontak dengan zeolit alam temperatur kalsinasi 450°C.

Limbah fenol simulasi dari larutan induk diencerkan sehingga memiliki konsentrasi 6 ppm. Masing masing diambil 50 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 ml. Masing-masing larutan di masukkan 3 gr zeolit alam temperature kalsinasi dikalsinasi 450°C, kemudian didiamkan pada *water bath* dan diatur pada temperatur kamar selama 30 menit; 60 menit; 90 menit; 120 menit dan 150 menit. Filtrat diambil dan digunakan untuk analisis penentuan jumlah fenol dalam filtrat dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

5. Percobaan Adsorpsi larutan fenol simulasi variasi konsentrasi awal limbah fenol dengan zeolit alam temperatur kalsinasi 450°C

Limbah fenol simulasi dari larutan induk diencerkan sehingga memiliki konsentrasi 4 ppm; 6 ppm; 8 ppm; 10 ppm; dan 12 ppm. Masing masing konsentrasi diambil 50 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 ml, dari masing-masing konsentrasi di masukkan 3 gr zeolit alam temperatur kalsinasi 450°C, kemudian didiamkan pada *water bath* dan diatur pada temperatur kamar dan diamati setiap waktu tertentu. Filtrat diambil dan digunakan untuk analisis penentuan jumlah fenol dalam filtrat dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

6. Metode penentuan jumlah fenol

Kandungan fenolat dalam filtrat dilakukan dengan menggunakan metode Folin-Denis yang dilaporkan oleh Niknam dan Ebrahimzadeh (2002) dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Filtrat diencerkan sampai volume akhir 17 ml, lalu didistilasi dengan H₂O kemudian ditambahkan 1 ml reagen Folin dan 2 ml larutan jenuh natrium karbonat. Setelah 30 menit, absorbansi diukur pada 760 nm. Larutan akuades digunakan sebagai standar (Ranganna, 1986).

Teknik Analisis Data

1. Penentuan kadar fenol teradsorp

Data yang diperoleh dalam proses adsorpsi digunakan untuk menentukan kadar fenol yang teradsorp oleh zeolite alam. Isoterm adsorpsi fenol pada zeolit alam dipaparkan menggunakan grafik. Kadar fenol teradsorp dan persentase adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = \frac{C_0 - C_{txv}}{m}$$

$$\%Ads = \frac{(C_0 - C_t)xv}{C_0} \times 100\%$$

Dimana q adalah jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g), %Ads adalah persentase adsorpsi (%), C_0 adalah konsentrasi awal (mg/L), C_t adalah konsentrasi pada waktu t (mg/L), V adalah volume yang dikontakkan (mL) dan m adalah massa adsorben (mg).

Zeolit alam setelah melakukan adsorpsi dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk analisis perubahan gugus fungsional serta XRD dengan kisaran sudut $2\theta = 2-70^\circ$ dan laju *scanning* 2θ $0,02^\circ/\text{detik}$ untuk melihat perubahan struktur untuk mengetahui interaksi saat adsorpsi terjadi antara fenol dengan zeolit alam.

2. Metode penentuan kinetika adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga.

a. Penentuan reaksi orde nol

Penentuan orde nol dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (1). Regresi linear kinetika orde nol pada proses adsorpsi fenol dengan menggunakan zeolit alam ditentukan dengan memplotkan C_e (fenol akhir) dengan waktu kontak.

b. Penentuan reaksi orde satu

Penentuan orde satu dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (2). Regresi linear kinetika orde satu pada proses adsorpsi fenol dengan menggunakan zeolit alam ditentukan dengan memplotkan $\ln C_0/C_e$ dengan waktu kontak.

c. Penentuan reaksi orde dua

Penentuan orde dua dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (3). Regresi linear kinetika orde dua pada proses adsorpsi fenol dengan menggunakan zeolit alam ditentukan dengan memplotkan $1/C_e$ dengan waktu kontak.

d. Penentuan reaksi orde tiga

Penentuan orde tiga dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (4). Regresi linear kinetika orde tiga pada proses adsorpsi fenol dengan menggunakan zeolit alam ditentukan dengan memplotkan $1/C_e^2$ dengan waktu kontak.

3. Metode penentuan model isoterm adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan isoterm Langmuir menggunakan persamaan (5) dan bentuk logaritmik persamaan isoterm Freundlich menggunakan persamaan (6). Dari hasil pengaluran linear log q_e terhadap log C_e (model Freundlich) dan $1/q_e$ terhadap $1/C_e$ (model Langmuir) akan diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang menunjukkan kecenderungan pemilihan model isoterm yang sesuai untuk adsorpsi yang terjadi. Jika pada plot data kurva linear nilai R^2 mendekati 1, maka data percobaan mengikuti model kesetimbangan tersebut.

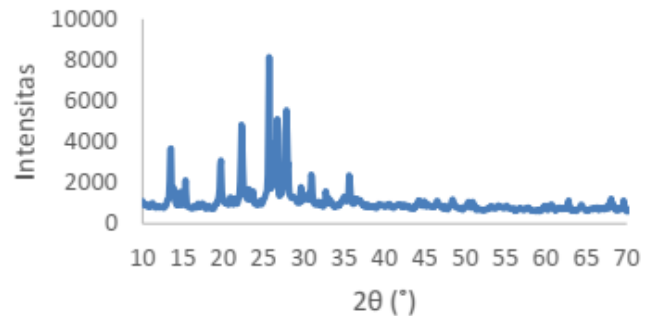
Hasil dan Pembahasan

1. Preparasi Zeolit Alam

Preparasi zeolit alam dilakukan dengan cara digerus, kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran 100 mesh. Zeolit alam ditimbang sebanyak 30 gram, dicuci dengan HCl dan dikeringkan dalam oven pada temperatur $100-110^\circ\text{C}$ selama 30

menit. Zeolit alam yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan spektrofotometer FTIR. Zeolit alam hasil preparasi dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui jenis struktur kristal zeolit alam.

Difraktogram hasil preparasi zeolit alam dalam penelitian ini dipaparkan pada Gambar 4.1.

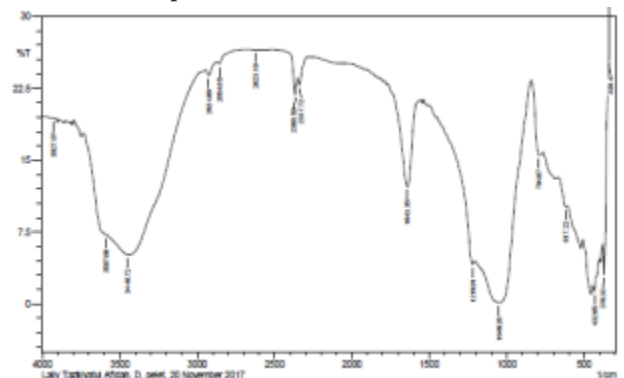


Gambar 4.1 Difraktogram zeolit alam sebelum kalsinasi

Berdasarkan difraktogram zeolit alam sebelum kalsinasi, dapat dilihat bahwa muncul refleksi dengan intensitas yang tajam pada $2\theta = 13,50^\circ; 19,66^\circ; 22,23^\circ; 25,65^\circ; 27,79^\circ; \text{ dan } 36,43^\circ$. Refleksi pada 2θ tersebut merupakan karakteristik dari zeolit alam modernit. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Wijaya *et al.* (2006) bahwa refleksi dengan intensitas yang tajam pada daerah $2\theta = 9,82^\circ; 13,46^\circ; 19,69^\circ; 22,35^\circ; 23,15^\circ; 25,68^\circ; 36,34^\circ; \text{ dan } 27,74^\circ$ menunjukkan karakteristik mordenit.

Analisis spektrofotometer FTIR digunakan untuk mengetahui struktur kimia dari zeolit alam berdasarkan karakteristik gugus fungsi yang terkandung di dalamnya. Spektra FTIR zeolit alam hasil preparasi dalam penelitian ini dipaparkan pada Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Spektra FTIR zeolit alam sebelum kalsinasi



Hasil spektra FTIR zeolit alam sebelum kalsinasi yang diamati pada bilangan gelombang 300 sampai 4000 cm^{-1}

menunjukkan terjadinya rentnagn simetri O-Al-O atau O-Si-O pada internal tetrahedral yang ditandai dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang 650-720 cm⁻¹. *Internal linkage* ditandai dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang 750-820 cm⁻¹. puncak pada bilangan gelombang 300-420 merupakan daerah untuk pore opening pada *external linkage*. Vibrasi tekukan Si-O atau Al-O muncul pada bilangan gelombang 420-500 cm⁻¹. Vibrasi ulur SiO₄ atau AlO₃ ditunjukkan dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang 1049,28 cm⁻¹. Vibrasi tekuk O-H muncul pada bilangan gelombang 1643,35 cm⁻¹ dan vibrasi ulur O-H muncul pada bilangan gelombang 3448,72 cm⁻¹.

2. Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Zeolit Alam

Difraktogram zeolit alam dengan berbagai variasi temperatur kalsinasi dipaparkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Difraktogram zeolit alam (a) tanpa kalsinasi, (b) kalsinasi 400°C, (c), kalsinasi 450°C dan (d) kalsinasi 500°C

Berdasarkan Gambar 4.3, proses kalsinasi terhadap zeolit alam tidak menunjukkan perubahan pola difraktogram yang berbeda dengan pola difraktogram zeolit alam sebelum kalsinasi. Gundukan (hump) pada baseline difraktogram yang masih lebar menunjukkan dominasi fasa amorf. Refleksi dengan intensitas yang tajam pada 2θ = 13,50°; 19,66°; 22,23°; 25,65°; 27,79°; dan 36,43° masih terlihat, menampakkan fasa kristalin dari zeolit modernit. Perbedaan terlihat pada difraktogram zeolit kalsinasi 500oC, muncul intensitas tajam pada 2θ = 47,79o menandakan zeolit terdealuminasi. Kalsinasi tidak membuat perubahan pada puncak refleksi sebelum kalsinasi. Hal ini menunjukkan bahwa kristalinitas dan struktur modernit zeolit alam cukup stabil akibat proses kalsinasi maupun pada peningkatan temperatur kalsinasi.

Zeolit alam yang diaktivasi dapat menyebabkan terjadinya dealuminasi yang ditandai dengan adanya pergeseran puncak spektra FTIR pada vibrasi ulur internal zeolit alam ke bilangan gelombang yang lebih tinggi dan pergeseran puncak vibrasi eksternal zeolit alam pada bilangan gelombang yang lebih rendah. Hal ini karena terjadinya penurunan jumlah Al pada struktur zeolit (Kresnadipayana, 2012).



Gambar 4.4 Spektra FTIR zeolit alam (a) tanpa kalsinasi, (b) kalsinasi 400°C, (c) 450°C dan (d) 500°C

3. Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol

Keseluruhan variasi konsentrasi awal fenol, kemampuan adsorpsi zeolit alam yang dikalsinasi pada temperatur 400°C memberikan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam tanpa kalsinasi. Zeolit alam tanpa kalsinasi mampu mengadsorp limbah fenol hingga mencapai nilai optimum 33,202% pada konsentrasi awal 8 ppm. Nilai adsorpsi zeolit alam kalsinasi 400oC pada limbah fenol mengalami penurunan seiring meningkatnya konsentrasi awal fenol. Begitu pula untuk nilai adsorpsi zeolit alam kalsinasi 450oC juga mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya konsentrasi awal fenol. Berbeda dengan zeolit alam kalsinasi 500oC yang menunjukkan peningkatan nilai adsorpsi dengan semakin meningkatnya konsentrasi awal fenol, yaitu pada konsentrasi 6 ppm meningkat pada konsentrasi 8 ppm. Akan tetapi nilai adsorpsi mengalami penurunan pada peningkatan konsentrasi awal 10 ppm. Dengan demikian kemampuan adsorpsi zeolit alam tanpa kalsinasi optimum pada konsentrasi awal 8 ppm, sedangkan zeolit alam kalsinasi 400oC dan kalsinasi 450oC optimum pada konsentrasi 6 ppm, dan zeolit alam kalsinasi 500oC optimum pada konsentrasi awal fenol 8 ppm.

Meningkatnya kemampuan adsorpsi zeolit alam antara zeolit alam yang tidak dikalsinasi dengan zeolit alam yang dikalsinasi menunjukkan bahwa proses aktivasi (kalsinasi) zeolit alam mampu meningkatkan daya adsorpsi. Kenaikan nilai kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol pada zeolit alam yang dikalsinasi disebabkan karena proses kalsinasi telah

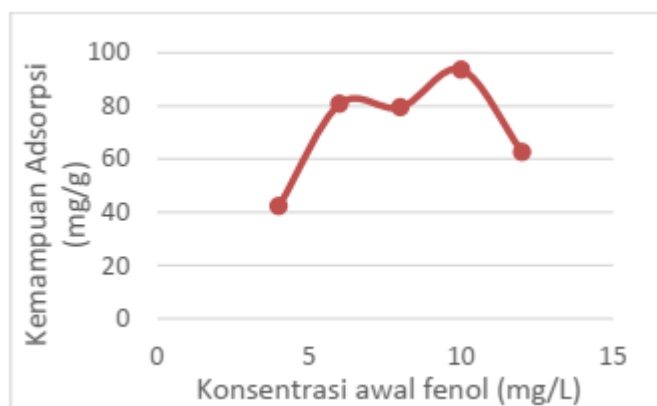
membersihkan rongga pori zeolit dari molekul air dan oksida-oksida logam yang dianggap sebagai pengotor. Rongga-rongga kosong yang terbentuk pada permukaan zeolit dapat memperbesar permukaan aktif sehingga kemampuan adsorpsi menjadi lebih besar (Ngapa, 2017).

4. Pengaruh konsentrasi awal fenol terhadap kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol

Konsentrasi awal adsorbat pada dasarnya memberikan kekuatan pendorong penting untuk mengatasi semua ketahanan perpindahan massa adsorbat antara fasa berair dan padat. Hasil kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol berdasarkan variasi konsentrasi awal fenol dipaparkan pada Gambar 4.6.

Hasil menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi awal fenol maka kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol semakin besar sampai pada konsentrasi optimum. Selanjutnya konsentrasi awal fenol yang semakin besar menghasilkan kemampuan adsorpsi yang semakin kecil pada konsentrasi awal fenol yang lebih besar. Menurut Dalang dan Tuah (2016) peningkatan konsentrasi fenol awal akan menghasilkan adsorpsi fenol yang lebih tinggi karena gaya penggerak perpindahan massa akan lebih tinggi. Konsentrasi fenol yang tinggi memberikan kontribusi interaksi yang lebih tinggi antara fenol dan adsorben. Dengan demikian, konsentrasi fenol awal yang lebih tinggi meningkatkan proses adsorpsi sampai terjadi kesetimbangan proses adsorpsi.

Di sisi lain, hasil kemampuan adsorpsi turun saat konsentrasi awal fenol meningkat pada konsentrasi yang tinggi (lebih dari 10 ppm). Bazrafshan *et al.* (2016) menambahkan bahwa fenol yang ada dalam media adsorpsi dapat berinteraksi dengan tempat pengikatan pada konsentrasi rendah, sehingga diperoleh hasil adsorpsi yang lebih tinggi sedangkan lokasi adsorpsi jenuh pada konsentrasi tinggi, menghasilkan hasil adsorpsi yang lebih rendah disebabkan karena konsentrasi fenol awal meningkat maka terjadi penurunan persentase pelepasan fenol. Hal ini dapat dikaitkan dengan akumulasi partikel fenol pada permukaan adsorben.



Gambar 4.5 Kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap fenol berdasarkan variasi konsentrasi awal fenol

5. Isoterm Adsorpsi Zeolit Alam

Data hasil penelitian yang diperoleh untuk adsorpsi fenol pada zeolit alam telah digunakan untuk merencanakan bentuk linier dari masing-masing model isoterm. Konstanta isoterm dan koefisien korelasi dari model adsorpsi Langmuir dan Freundlich disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter isoterm model Langmuir dan Freundlich

Model	Konstanta					
	R ²	Q ₀	R _L	K _L (L/g)	K _F (mg/g)	1/n
Isoterm Langmuir	0,409	116,279		0,284		
Isoterm Freundlich	0,212		0,029		44,096	0,272

Hasil isoterm model Langmuir dan Freundlich menunjukkan bahwa nilai korelasi (R²) model Langmuir lebih besar dibandingkan model Freundlich. Dengan demikian, model Langmuir lebih untuk menjelaskan data adsorpsi zeolit alam terhadap fenol daripada model Freundlich. Hasil ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi didominasi adsorpsi monolayer. Isoterm Langmuir menggambarkan adsorpsi kimia pada satu sisi aktif dimana sekali molekul menempati sebuah sisi aktif maka tidak akan terjadi penyerapan. (Ngapa, 2017).

6. Kinetika Adsorpsi Zeolit Alam

Hasil kinetika adsorpsi dipaparkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kinetika reaksi zeolit alam terhadap fenol

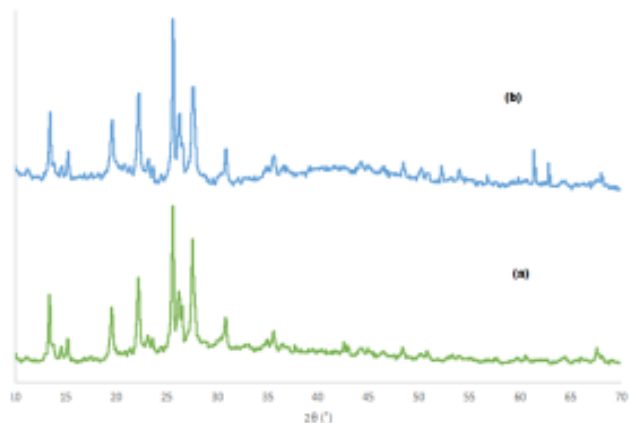
Orde reaksi	R ²	C ₀	K
Orde nol	4 x 10 ⁻⁵	5.025	-9 x 10 ⁻⁵
Orde 1	0.122	5.369	-0,001
Orde 2	0.119	5.308	2 x 10 ⁻⁴
Orde 3	0.114	5.249	8 x 10 ⁻⁵

Berdasarkan persamaan kinetika adsorpsi zeolit alam terhadap fenol menghasilkan nilai korelasi (R²) yang masih jauh dari nilai 1 pada seluruh orde reaksi, meskipun demikian nilai korelasi paling besar dimiliki pada persamaan kinetika reaksi orde 1. Dengan demikian, adsorpsi zeolit alam terhadap fenol mengikuti persamaan kinetika reaksi orde 1 dengan koefisien kinetika reaksi sebesar -0,001 menit⁻¹.

7. Karakteristik Zeolit Alam Setelah Melakukan Proses Adsorpsi terhadap Fenol

Perubahan struktur kimia zeolit alam setelah melakukan proses adsorpsi terhadap fenol ditunjukkan melalui pola difraksi

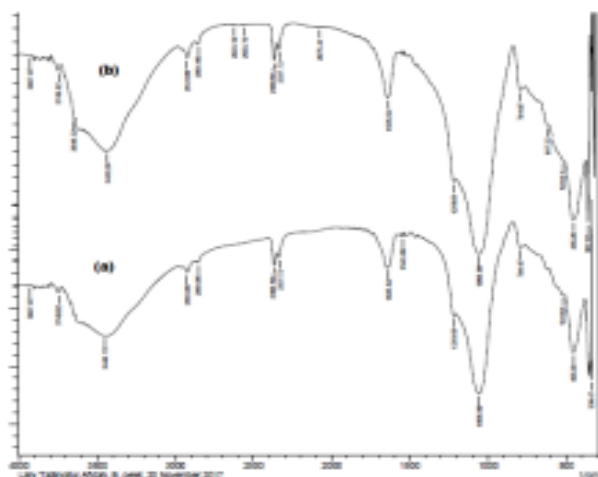
yang dipaparkan pada Gambar 4.7. Berdasarkan Gambar 4.7, proses adsorpsi zeolit alam terhadap fenol tidak membuat refleksi dengan intensitas yang tajam pada $2\theta = 13,50^\circ$; $19,66^\circ$; $22,23^\circ$; $25,65^\circ$; $27,79^\circ$; dan $36,43^\circ$ mengalami perubahan dengan puncak refleksi sebelum sebelum zeolit alam digunakan untuk adsorpsi fenol. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur modernit zeolit alam tidak mengalami perubahan akibat proses adsorpsi terhadap fenol.



Gambar 4.7 Difraktogram zeolit alam (a) sebelum adsorpsi (b) setelah adsorpsi

Perubahan struktur kimia dan proses adsorpsi yang terjadi antara zeolit alam dan fenol juga dapat ditunjukkan melalui pergeseran gugus fungsi yang terdapat dalam zeolit alam sebelum dan sesudah melakukan adsorpsi terhadap fenol. Spektra FTIR zeolit alam sebelum dan sesudah melakukan proses adsorpsi dengan fenol dipaparkan pada Gambar 4.8.

Berdasarkan Gambar 4.8, proses adsorpsi zeolit alam terhadap fenol tidak menyebabkan terjadinya pergeseran puncak pada bilangan gelombang yang menjadi karakteristik gugus fungsi zeolit alam. Spektra FTIR juga tidak memperlihatkan puncak baru pada bilangan gelombang $698,23\text{cm}^{-1}$ dan $754,17\text{cm}^{-1}$ yang menjadi area khas serapan gugus benzen monosubstitusi.



Gambar 4.8 Spektra FTIR zeolit alam (a) sebelum adsorpsi (b) setelah adsorpsi

Hasil ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi zeolit alam terhadap fenol tidak membentuk ikatan kimia antara fenol dengan zeolit alam. Proses adsorpsi fenol pada zeolit alam dapat disimpulkan sebagai proses adsorpsi fisik.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini yaitu

1. Peningkatan temperatur kalsinasi zeolit alam tidak mengubah struktur modernit zeolit alam dan menyebabkan terjadinya proses dealuminasi yang semakin besar seiring dengan meningkatnya temperatur kalsinasi sampai pada temperatur 450°C .
2. Kalsinasi zeolit alam meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam dimana kemampuan adsorpsi tertinggi zeolit alam temperatur kalsinasi 400°C dan 450°C pada konsentrasi awal fenol 6 ppm, dan kemampuan adsorpsi tertinggi zeolit alam temperatur kalsinasi 500°C pada konsentrasi awal fenol 8 ppm
3. Adsorpsi zeolit alam terhadap fenol mengikuti model isoterm Langmuir dan mengikuti kinetika reaksi orde satu.
4. Adsorpsi zeolit alam terhadap fenol tidak merubah struktur modernit zeolit alam dan terjadi proses adsorpsi secara fisik antara zeolit alam dengan fenol.

Saran

Saran yang dapat diambil dalam penelitian ini yaitu

1. Perlu dilakukan kajian kalsinasi zeolit alam pada temperatur di bawah 300°C dan diatas 500°C .
2. Perlu dikaji ulang adsorpsi zeolit pada fenol berdasarkan variasi temperatur adsorpsi dan konsentrasi awal fenol untuk karena data yang dihasilkan menunjukkan kemampuan adsorpsi dengan pola yang belum optimal.
3. Perlu dilakukan kajian ulang terkait isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi karena nilai korelasi masih jauh dari nilai 1.

Ucapan Terima Kasih

1. Bapak Khamidinal, M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan dukungan dan nasehat kepada penulis selama penelitian dan penulisan.

Daftar Pustaka

- Adamson, A.W., dan Gast, A.p., 1997, *Physical chemistry of surface, sixth edition*, John Wiley and sons, New York.
- Aji, S.B et al. 2009. *X-Ray Diffractometer*. Surakarta: Jurusan Teknik Kimia

- Angraini R., Wahyuni, N., dan Gusrizal. 2015. Adsorpsi fenol oleh kombinasi adsorben zeolit alam dan karbon aktif dengan metode kolom. *JKK*. Vol. 4, No. 1, Hal. 21-25.
- Atkins, P.W., 1997, *Kimia Fisika. Cetakan Keempat*, Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Bahl, B.K., Gasche, R., Breuer, L., and Papen, H., 1997. Fluxes of NO and N₂O from temperate forest soils: Impact of forest type, N deposition and of liming on the NO and N₂O emissions, *Nutr. Cycling Agroecosyst*, Vol. 48, Hal. 79-90.
- Beiser, Arthur. 1995. *Concepts of Modern Physics*. 3rd Edition. Jakarta: Erlangga
- Bell, R.G. 2001. *What are Zeolite?*
URL: <http://www.bza.org/zeolites.html>
- Berkhaut, V dan Singer, A., 1996. *High capacity cation exchanger by hydrothermal zeolitization of coal fly ash*. *Applied Clay Science* 13. Hal: 117 – 135.
- Budi Setya. 2008. *Perbedaan adsorpsi fenol arang tempurung kelapa dengan arang Sono*. Laporan hasil penelitian. Kediri : STIKES Surya Mitra Husada.
- Cheetam, D., A.. 1992. *Solid State Compound*. Oxford:Oxford university press.
- Estiaty, L.M. 2013. Keseimbangan Dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu²⁺ Pada Zeolit-H. *Ris. Geo. Tam*. Vol. 22, No.2.
- Fatmawati. 2006. *Kajian Adsorpsi Cd(II) Oleh Biomassa Potamogeton (Rumput Naga) Yang Terimobilkan Pada Silica Gel*. FMIPA Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Febriana, V. 2009. Pengaruh suhu kalsinasi pada aktivasi zeolit alam terhadap kemampuan mengadsorpsi ion besi (III). *Skripsi*. Jurusan Kimia. SMIPA. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Gaol, L.D.L. 2001. *Studi Awal pemanfaatan Beberapa Jenis Karbon aktif sebagai Adsorben*. Seminar FTUI. Depok.
- Harmita. 2006. *Analisis Fisika Kimia*. Jakarta: Departemen Farmasi FMIPA-UI
- Hollman, G. G., Sreenbruggen, G., Janssen-Jurcovicova, M..1999. *A Two Step Process for Synthesis of Zeolit from Coal Fly Ash*. *Fuel* 78, 1225-1230.
- Juliandini, F dan Trihadiningrum, Y. 2008. *Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol*. Jurusan Teknik Lingkungan, Program Pasca Sarjana : Institut Teknologi Surabaya
- Khopkar. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta:Universitas Indonesia
- Kundari Anis Noor. 2008. *Tinjauan Keseimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit*. Laporan hasil penelitian. Yogyakarta : STTN-BATAN.
- LPMA Departemen Agama RI, 2006 *al-Qur'an Terjemah Bahasa Indonesia* Kudus: Menara Kudus.
- Majid A.B., Trisunaryanti, W. Pratomo Y., Febriyanti, E., Hasyanti, S. dan Nugroho A. 2012. Karakterisasi dan uji aktivitas katalitik zeolit alam Indonesia pada hidrogenoksisan bekas dengan preparasi sederhana. *Prosiding Seminar Kimia Unesa 25 Februari 2012*. Surabaya.
- Menad K., Feddag, A., dan Rubeins, K. 2016. Synthesis and Study of calcination temperature influence on the change of structural properties of the LTA zeolite. *RASAYAN. J.Chem*. Vol. 9, No. 4, Hal. 788-798.
- Mondragon, F., Rincon, F., Sierra, L., Escobar, J., Ramirez dan John, F., .1990., "New Perspectives for Coal Ash Utilization: Synthesis of Zeolitic Materials", *Fuel*, vol 69
- Murdika, Alti. 2009. *Aplikasi Teknik Kombinasi Adsorpsi dan Elektrolisis untuk menurunkan kandungan fenol dalam limbah industri bahan kimia sanitasi*. Skripsi. Jakarta : FMIPA Universitas Indonesia
- Murniati, Hidayat, N dan Mudasar. 2009 *pemanfaatan Limbah Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Dasar Sintesis Zeolit dan aplikasinya Sebagai Adsorben Logam Berat Cu (II)*. Jurusan Kimia : UGM Yogyakarta
- Ngapa Y.D. 2017. Kajian pengaruh asam-basa pada aktivitas zeolit dan karakterisasinya sebagai adsorben pewarna biru metilen. *JKPK*. Vol. 2, No. 2, Hal. 90-96.
- Niknam V. dan Ebrahinzadeh H. 2002. Phenolics content in Astragalus species. *Pak. J. Bot.*, Vol. 34, No. 3, Hal. 283-289.
- Ondar, M.A., Grinberg, O.Y., Dubinsky, A.A., Shestakov A.F., Lebedev, Y.S. 1973, ESR spectroscopy and magnetic resonance parameters, *Khim Fizika*, Vol. 2, No. 54.
- Osipow L.I., 1962, *Surface chemistry: Theory and industrial application*, Reinhold Publishing, United Kingdom.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Wiley and Sons. New York .
- Panneerselvam, P., Bala, V.S.S., Thiruvengadaravi, K.V., Nandagopal, J., Palanichamy, M. & Sivanesan, S. 2009. The removal of copper ions from aqueous solution using phosphoric acid modified β -zeolites. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 2, No. 2: 63-66.
- Said, M., Prawati, A.W. dan Murenda, E. 2008. Aktivasi zeolit alam sebagai adsorbent pada adsorpsi larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*. No. 4, Vol. 15, Hal. 50-57.
- Sawyer, C.N. McCarty, P.L., Parkin G.F. 1990. *Chemistry for Environmental Engineering*. New York : McGraw-Hill Inc
- Saravanakumar K. dan Kumar A. 2013. Removal of phenol from aqueous solution by adsorption using zeolite. *Academic Journals*. Vol. 8, No. 23, Hal. 2965-2970.
- Sembodo, B.S.T., 2006, Model kinetika lagmuir untuk adsorpsi timbal pada abu sekam padi, Vol. 5, No.1, Hal. 28-33.
- Skogg, Douglas A, etc. 2004. *Fundamental of Analytical Chemistry Eighth Edition*. Belmont USA : Brooks Cole
- Slamet, Ellyana, M dan Bisma, S. 2010. *Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya Untuk Penyisihan Fenol*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik : Universitas Indonesia
- Suarnita, I Wayan. 2012. *Penggunaan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Pengganti Sebagiann Agregat Halus Pada Campuran Beton*. Jakarta : Universitas Tadulako
- Suryawan, B., 2004, Karakteristik zeolit indonesia sebagai adsorben uap air, *Disertasi*, FTUI, Depok.
- Sutarti, Mursi dan Rachmawati. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta : LIPI
- Swantomo D dkk. 2009. *Adsorpsi Fenol dalam Limbah dengan Zeolit Alam Terkalsinasi*. Yogyakarta : STTN-BATAN

- Tedder, D. William , Pohland, Frederick, G., 1989. *Emerging Technologies In Hazardous Waste Management*. Washington DC : American Chemical Society.
- Udyani K. dan Wulandari, Y. 2014. Aktivasi zeolit alam untuk peningkatan kemampuan sebagai adsorben pada pemurnian biodiesel. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan II 2014. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Wahyuni, S dan Widiastuti, N. 2010. *Adsorpsi Ion Logam Zn(II) Pada Zeolit A Batch*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam :Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wang, A., dan Peng, Y. 2010. Natural Zeolite as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chem. Eng. J.* Vol. 156, Hal. 11-24.
- Widjajanti, E., Pratomo, P., 1994, Pemanfaatan Bentonit pada Adsorpsi Besi dalam Air Sumur, laporan penelitian , FPMIPA IKIP Yogyakarta