



## Pengaruh High Energy Milling (HEM) pada Ukuran Partikel dan Kristalinitas Zeolit Alam untuk Adsorpsi Ion Cu(II) dan Ca(II)

Pardoyo<sup>1\*</sup>, Suhartana<sup>1</sup>, Haikel<sup>1</sup>, Pratama Jujur Wibawa<sup>1</sup>, Khabibi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro. Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

\*Corresponding author: [pardoyoku@gmail.com](mailto:pardoyoku@gmail.com)

Received: 2 November 2024 / Accepted: 02 Juni 2025

Available online: 14 Juni 2025

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian pengaruh *High Energy Milling* (HEM) pada ukuran partikel dan kristalinitas zeolit alam untuk adsorpsi ion Cu(II) dan Ca(II). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh HEM pada ukuran partikel zeolit dan kristalinitas serta menentukan waktu adsorpsi terbaik dengan zeolit alam dan zeolit alam milling. Metode penelitian dibagi menjadi tiga tahap, tahap pertama proses milling zeolit alam dengan HEM. Tahap kedua karakterisasi zeolit dengan PSA dan XRD. Tahap ketiga adsorpsi ion Cu(II) dan Ca(II) dengan kedua adsorben serta analisis perubahan konsentrasi dengan AAS. Hasil penelitian menunjukkan ukuran partikel zeolit alam dan zeolit alam milling berturut-turut adalah 3000 nm – 6000 nm, dan 288 nm – 540 nm. Hasil XRD menunjukkan kenaikan intensitas dan nilai  $2\theta$  dari zeolit milling terhadap zeolit alam. Perlakuan milling menyebabkan zeolit memiliki ukuran partikel lebih kecil sehingga zeolit alam milling mampu mengadsorpsi ion Cu(II) dan Ca(II) masing-masing 94,2% dan 35,69%. Perlakuan HEM mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi Cu(II) dan Ca(II)

**Kata Kunci:** zeolit alam, high energy milling, adsorpsi.

### 1. Pendahuluan

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan berat jenis lebih besar dari 5 mg/cm<sup>3</sup>. Logam berat yang berbahaya di perairan diantaranya adalah arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn). Menurut Darmono [1], faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diadsorpsi. Sebagai Ion logam esensial Cu memiliki toksisitas yang akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai ambang batasnya, jika ini terjadi bisa menyebabkan gangguan lambung, kerusakan hati, klenjar getah bening dan kelainan ginjal [2, 3, 4]. Selain itu ada logam berbahaya lain yang menghasilkan kesadahan seperti kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonatnya. Air sadah menyebabkan mineral kandungannya mudah mengendap sehingga dapat menyebabkan kemampetan pada air kran, saluran, dan bisa membahayakan kesehatan jika diminum. Salah

satu material yang dapat menyerap kesadahan dan logam berat adalah zeolit alam[5]. Penelitian Egashira [6] menunjukkan zeolit alam dapat menurunkan kadar logam seperti Ca, Cu, Zn, Si, Ti, dan Mn dengan cara adsorpsi.

Zeolit alam bisa ditingkatkan kemampuan adsorpsinya dengan mengecilkan ukuran partikelnya dan aktivasi[7], walaupun kadang perlakuan milling sedikit menurunkan luas permukaan karena dipengaruhi beberapa faktor [8,9]. Pengecilan ukuran sampai ranah nano akan semakin mengefektifkan kapasitas adsorpsinya. Pham[10] menunjukkan bahwa nanozeolit memiliki luas permukaan, volume pori dan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif, nanozeolit dapat menyerap 78% ion logam Cd(II) sedangkan karbon aktif hanya 42%. Nanozeolit yang dibuat dengan alat *Planetary Ball Milling* dapat meningkatkan daya serap pada adsorpsi logam Ni(II), Cd(II), dan Cu(II)[11].

Kurniawan[12] menyatakan mordenite alam yang dibuat ukuran mikro dan nano dengan variasi waktu penggilingan *high energy milling*, hasilnya

Doi:

semakin kecil ukuran mordenit alamnya, semakin besar luas permukaan dan volume mesoporinya. P. Pardoyo [13] meneliti perlakuan asam terhadap zeolit alam mempengaruhi kristalinitasnya, semakin menurun kristalinitas semakin baik kemampuan adsorpsinya terhadap ion  $\text{Ca(II)}$ . Perlakuan milling diduga juga akan berpengaruh pada kristalinitas zeolit alam dalam proses adsorpsinya terhadap ion  $\text{Cu(II)}$  dan  $\text{Ca(II)}$ . Pada penelitian ini zeolit alam dilakukan milling dengan *high energy milling* dengan kecepatan dan waktu tertentu selanjutnya dievaluasi ukuran partikel dan perbedaan nilai  $2\theta$  serta intensitas peak dalam mengadsorpsi ion  $\text{Cu(II)}$  dan  $\text{Ca(II)}$

## 2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan proses milling zeolit alam dilanjutkan karakterisasi zeolit lolos ayakan 100 mesh (zeolit alam), zeolit alam milling dengan PSA (*Particle Size Analyzer*) dan XRD (*X-ray Diffraction*). Kemampuan adsorpsi adsorben terhadap ion  $\text{Cu(II)}$  dan ion  $\text{Ca(II)}$  dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat:** Peralatan gelas, *High Energy Milling* (HEM-E3D), ayakan 100 mesh, oven, kertas saring, instrument XRD, PSA (SHIMADZU), AAS (Perkin Elmer Analyst 200), neraca analitis, dan shaker (MaxQ 2000).

**Bahan:** Zeolit alam (Wonosari),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  p.a.,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  p.a. dan aquades.

## 2.2. Cara Kerja

### 2.2.1 Proses Milling

Zeolit alam diayak dengan pengayak 100 mesh selanjutnya dimasukkan alat HEM-E3D. Rasio yang digunakan 1:5, setiap kali melakukan milling, zeolit alam sebanyak 5 gram dengan 11 buah bola penggiling dengan berat 25 gram dimasukkan dalam tabung (*jar*) HEM-E3D. Proses milling berlangsung selama 30 menit dengan kecepatan 700 rpm. Tabung HEM-E3D dan bola penghancur sebelum digunakan dicuci terlebih dahulu menggunakan etanol. Zeolit yang sudah dimilling dilakukan karakterisasi dengan PSA dan XRD dibandingkan dengan zeolit alam.

### 2.2.2. Adsorpsi ion $\text{Cu(II)}$

Adsorpsi ion  $\text{Cu(II)}$  dilakukan dengan cara zeolit alam 0,5 gram ditambahkan dengan 25 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  150 ppm dishaker dengan variasi waktu kontak 5 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil disaring dan diambil filtratnya selanjutnya dianalisis dengan AAS. Cara yang sama dilakukan untuk zeolit alam milling.

### 2.2.3. Adsorpsi $\text{Ca(II)}$

Adsorpsi ion  $\text{Ca(II)}$  dilakukan dengan menambahkan zeolit alam 0,5 gram dalam 25 mL larutan  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dishaker dengan variasi waktu 5 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil disaring dan diambil filtratnya, kemudian dianalisis menggunakan AAS. Cara yang sama dilakukan untuk zeolit alam milling.

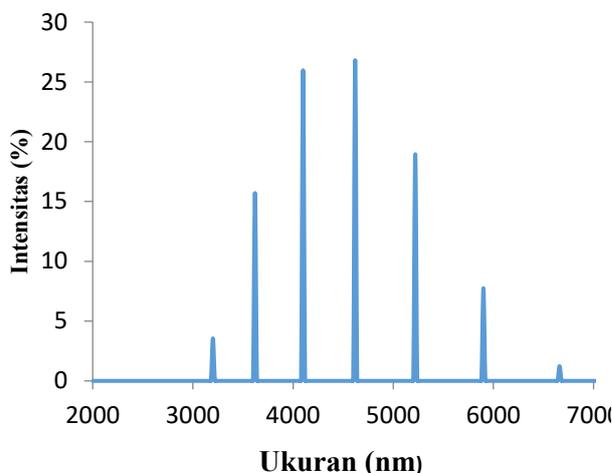
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Ukuran Partikel Zeolit Alam Milling

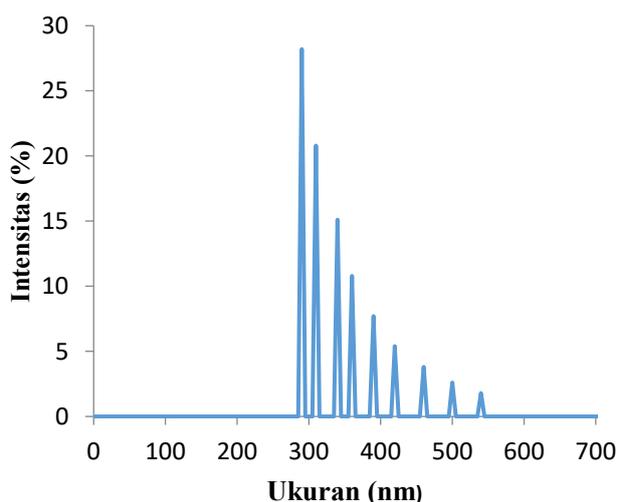
Proses milling pada penelitian ini menggunakan waktu 30 menit dengan kecepatan rotasi 700 rpm. Penggunaan waktu dan kecepatan rotasi tersebut dimaksudkan agar material zeolit yang dimilling memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan seragam juga diharapkan dapat mencapai ukuran partikel dalam nanometer. Semakin lama waktu pada proses milling, tumbukan antara bola penghancur dengan serbuk serta dinding *jar* akan menyebabkan temperatur meningkat dalam *jar* [14]. Namun pada proses ini perlu kontrol agar temperatur yang meningkat dalam *jar* tidak menimbulkan kontaminasi serta penggumpalan berlebih yang mengakibatkan penambahan ukuran partikel. Dilihat dari proses penggerusan yang terjadi akan menyebabkan serbuk zeolit memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan sebelum proses milling.

Rasio massa bola terhadap serbuk zeolit yang digunakan pada penelitian ini adalah 5:1. Rasio ini cocok pada kondisi *jar*, dimana pengisian serbuk zeolit dan bola penghancur tidak melebihi 2/3 volume *jar*. Hal ini bertujuan menyediakan ruang yang cukup bagi serbuk zeolit dan bola penghancur untuk bergerak bebas dalam *jar* sehingga proses penggilingan berjalan efektif. Menurut Agusetiari [15] rasio bola penghancur terhadap serbuk zeolit yang lebih kecil dapat memperlambat benturan antara serbuk dan bola, sedangkan rasio yang terlalu besar akan mempersempit pergerakan bola dan serbuk dalam *jar*. Penelitian ini menggunakan 3 bola besar dan 7 bola kecil dengan massa total bola yaitu 25 gram, sehingga setiap kali proses penggilingan memerlukan zeolit 5 gram. Hasil PSA pada zeolit alam dan zeolite alam milling disajikan pada gambar 1 dan 2.

Grafik gambar 1 dan 2 menunjukkan adanya penurunan ukuran zeolit alam setelah milling sangat besar dari ukuran 3000 - 6000 nm menjadi 288 - 540 nm. Proses milling berhasil membuat ukuran zeolit alam menjadi lebih kecil signifikan. Semakin kecil ukuran partikel akan menambah luas permukaan padatan sehingga dimungkinkan meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Walaupun belum sampai pada ukuran partikel ranah nanometer (1-100 nm) penelitian ini membuktikan kemungkinan menggunakan metoda topdown untuk menghasilkan ukuran partikel material menjadi lebih kecil seperti yang diharapkan [16, 15, 14].



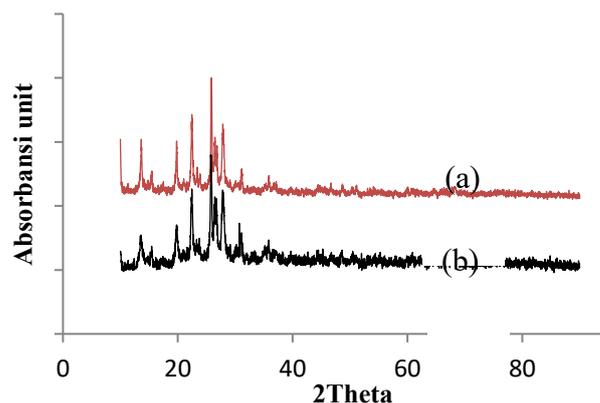
**Gambar 1.** Grafik PSA Zeolit Alam



**Gambar 2** Grafik PSA zeolit setelah milling

### 3.2 Kristalinitas Zeolit Alam Milling

Perlakuan milling akan meningkatkan suhu dan tekanan yang dialami material saat proses. Analisis dengan XRD dilakukan untuk mengetahui apakah milling hanya menurunkan ukuran partikel (PSA) atau sampai mengakibatkan perubahan struktur kristal zeolit alam. Hasil XRD ditunjukkan gambar 3. Sekilas tidak ada perbedaan signifikan hasil difraktogram kedua zeolit, untuk mengetahui beberapa perbedaan harga  $2\theta$  disajikan pada tabel 1.



**Gambar 3** Difraktogram (a) zeolit alam (b) zeolit milling

Difraktogram gambar 3 dan tabel 1 menunjukkan ada peningkatan intensitas peak pada  $2\theta$  10,0 zeolit alam dari 18 menjadi 24 pada zeolit alam milling selanjutnya ada peningkatan peak kembali pada  $2\theta$  27,68(27,82) dari 63 menjadi 72. Disamping ada kenaikan intensitas peak ada penurunan intensitas pada  $2\theta$  13,4(13,48) dari 41 zeolit alam menjadi 36 zeolit milling, juga pada  $2\theta$  30,9(30,96) dari 38 menjadi 34. Pada nilai  $2\theta$  yang lain ditemukan intensitas peak yang sama pada zeolit alam dan zeolit milling. Secara umum data ini mengindikasikan nilai  $2\theta$  dan intensitas peak zeolit alam ke zeolit milling sedikit berubah tetapi tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh perlakuan milling yang tidak merubah kandungan dan tidak merusak struktur dari zeolit alam, hanya ukuran partikel yang menjadi lebih kecil dan lebih lembut membuat  $2\theta$  dan intensitasnya sedikit berubah. Struktur zeolit alam dengan perlakuan milling selama 30 menit 700 rpm bertahan kristalin seperti pada zeolit alam tanpa milling.

**Tabel 1.** Nilai  $2\theta$  dan intensitas adsorben

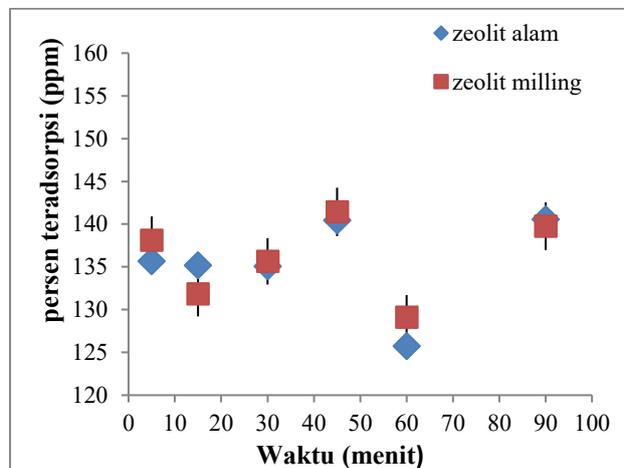
Zeolit Alam		Zeolit Alam Milling	
$2\theta$	I	$2\theta$	I
10	18	10	24
13,4	41	13,48	36
19,56	41	19,64	41
22,26	67	22,38	67
25,64	100	25,76	100
27,68	63	27,82	72
30,9	38	30,96	34

### 3.3 Adsorpsi Ion Logam Cu(II)

Proses adsorpsi, adsorben dalam larutan ion logam Cu(II) 150 ppm dishaker dengan variasi waktu kontak yang ditentukan. Penggunaan shaker untuk menambah kinerja penyerapan yang dilakukan

Doi:

adsorben agar penyerapan dapat berlangsung dengan baik tanpa merusak ukuran butiran adsorben. Diharapkan variasi waktu kontak semakin lama akan meningkatkan daya adsorpsi adsorben terhadap adsorbat. Hasil adsorpsi ion logam Cu(II) dengan zeolit alam dan zeolit milling disajikan pada gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik Adsorpsi Ion Logam Cu(II)

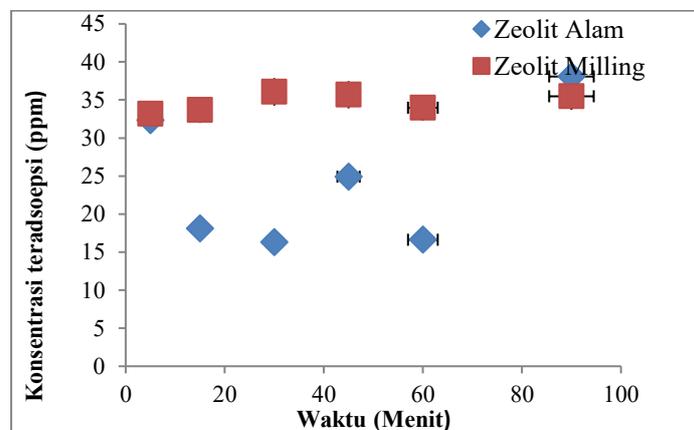
Gambar 4 menunjukkan semakin lama waktu adsorpsi konsentrasi teradsorpsi cenderung mengalami peningkatan. Kedua adsorben menunjukkan waktu adsorbat teradsorpsi maksimum pada 45 menit. Jika dibandingkan dengan zeolit alam, zeolit milling memiliki ukuran yang jauh lebih kecil (pada pengukuran dengan PSA), diharapkan luas permukaan meningkat sehingga kemampuan adsorpsinya bertambah. Data kemampuan adsorpsi maksimum pada variasi waktu adsorpsi pada tabel 2 menunjukkan kedua adsorben mampu mengadsorpsi ion logam Cu(II) masing-masing 93,6% untuk zeolit alam dan 94,2% untuk zeolit milling dari konsentrasi awal 150 ppm. Ada peningkatan konsentrasi dan persentase teradsorpsi walaupun kecil kurang signifikan dari zeolit alam ke zeolit milling. Hasil ini dimungkinkan karena adanya proses aglomerasi material saat dimilling sehingga ukuran yang kecil belum mendukung peningkatan luas permukaan yang signifikan[16]. Diperlukan variasi kondisi agar dalam milling terhindar dari proses terjadinya aglomerasi. Bagaimanapun kemampuan adsorpsi kedua zeolit terhadap Cu(II) dalam hal ini cukup baik[17].

**Tabel 2.** Waktu, konsentrasi dan persentase teradsorpsi adsorben

Adsorben	Waktu adsorpsi (menit)	Konsentrasi teradsorpsi (ppm)	Persentase teradsorpsi (%)
Zeolit alam	45	140,41	93,60
Zeolit milling	45	141,43	94,20

### 3.3 Adsorpsi Ion Logam Ca(II)

Proses adsorpsi ion Ca(II) dilakukan dengan cara yang sama pada adsorpsi ion logam Cu(II), kemampuan adsorpsi zeolit alam dan zeolit milling terhadap ion logam Ca(II) ditunjukkan gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik Adsorpsi Ion Logam Ca(II)

Gambar 5 menunjukkan semakin lama waktu adsorpsi semakin besar konsentrasi ion Ca(II) yang teradsorpsi. Pada setiap titik variasi waktu zeolit milling menunjukkan adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam kecuali pada waktu 90 menit. Secara umum Jika dibandingkan dengan zeolit alam, penggunaan zeolit milling membuat adsorpsi lebih baik dikarenakan pada zeolit milling selain ukurannya yang kecil juga membuat luas permukaan dimungkinkan lebih besar. Jika diambil waktu adsorpsi 45 menit, waktu yang sama dengan waktu adsorpsi maksimum Cu(II) maka zeolit alam mampu mengadsorpsi 24,92% dari konsentrasi awal 100 ppm, sedangkan zeolit alam milling meningkat sampai 35,69% (tabel 3).

**Tabel 3.** Waktu, konsentrasi, dan persentase teradsorpsi adsorben

Adsorben	Waktu adsorpsi (menit)	Konsentrasi teradsorpsi (ppm)	Persentase teradsorpsi (ppm)
Zeolit alam	45	24,92	24,92 %
Zeolit milling	45	35,69	35,69 %

Membandingkan adsorpsi ion logam Cu(II) dan Ca(II), terlihat bahwa kemampuan adsorpsi kedua zeolit terhadap ion Cu(II) lebih besar daripada Ion Ca(II), seharusnya ion Ca(II) yang teradsorpsi lebih banyak karena termasuk golongan *hard acid* yang akan berinteraksi dengan baik dengan *hard*

## Doi:

base pada situs aktif zeolit seperti pada teori HSAB Pearson[18]. Hal ini dimungkinkan karena Cu(II) termasuk *boderline* sehingga bisa berikatan dengan baik dengan situs *hard base* ataupun *soft base*.

Disamping itu mempertimbangkan ukuran ion logam Ca(II) yang lebih kecil dibanding ion logam Cu(II) dan adsorpsi dilakukan dalam pelarut air, Ion logam Ca(II) memiliki jari-jari ion sebesar 114 pm sedangkan ion logam Cu(II) sebesar 140 pm. Menurut Wulfsberg[19] kekuatan ikatan antara ion logam dengan molekul air meningkat dengan muatan listrik pada ion logam dan menurun dengan meningkatnya jari-jari dari ion logam tersebut. Ukuran ion Ca(II) yang lebih kecil menyebabkan ion tersebut dalam larutan cenderung dikelilingi oleh air (tehidrasi) sehingga lebih tidak mudah untuk berinteraksi dengan pori dari adsorben zeolit alam.

#### 4. Kesimpulan

Perlakuan *high energy milling* menurunkan ukuran partikel zeolit alam 3000 nm – 6000 nm menjadi 288 nm – 540 nm. Kemampuan Adsorpsi zeolit alam milling terhadap Cu(II) dan Ca(II) cenderung lebih baik hampir pada semua waktu kontak adsorpsi. Pada waktu 45 menit adsorpsi zeolit milling terhadap Cu(II) dan Ca(II) masing-masing 94,20 % dan 35,69% lebih baik dari zeolit alam masing-masing 93,60% dan 24,92%. Kemampuan adsorpsi zeolit alam milling dalam kondisi ini meningkat karena ukuran partikel yang lebih kecil, kurang dipengaruhi oleh kristalinitas yang tidak berubah signifikan.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Anorganik Departemen Kimia FSM UNDIP yang telah menyediakan fasilitas penelitian.

#### Daftar Pustaka

- [1] Darmono, 1995, Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup, Penerbit Universitas Indonesia.
- [2] Manahan, S. E., 2011, Fundamentals of Environmental Chemistry, CRC press.
- [3] Chowdhury, Z.Z., Zain, S.M., Khan, R.A., Ahmed, A.A. 2011. Equilibrium Kinetics and Isotherm Studies of Cu(II) Adsorption from Waste Water Alkali Activated Oil Palm Ash, *Am J Appl Sci*, 8(3): 230-237, <https://doi.org/10.3844/ajassp.2011.230.237>
- [4] Johnson N. Naat1, Yantus A. B Neolaka1, Titus Lapailaka, Rachmat Triandi Tj, Akhmad Sabarudin, Handoko Darmokoesoemo, Heri Septya Kusuma, adsorption of Cu(II) and Pb(II) using silicamercepto hybrid adsorbent synthesized from silica of takari sand: optimization of parameters and kinetics, *Rasayan J. Chem.*, 14(1), 550-560(2021). <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2021.1415803>
- [5] Mahmoud F. Mubarak, Atef Mohamed Gad Mohamed, Mohammed Keshawy, Thanaa AbdelMoghny, Nabila Shehata, Adsorption of heavy metals and hardness ions from groundwater onto modified zeolite: Batch and column studies, *Alexandria Engineering Journal*, 61,6, 2022, 4189-4207 <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.09.041>
- [6] Egashira, R., Tanabe, S., Habaki, H., 2012, Adsorption of Heavy Metals in Mine Wastewater by Mongolian Natural Zeolite, *Procedia Engineering*, 42: 49-57, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.394>
- [7] P Pardoyo, Y Astuti, G Herinnayah, S Suhartana, P J Wibawa, 2020, The influence of high energy milling to the adsorption of Cd(II) and Zn(II) ions on activated zeolite, *Journal of Physics: Conference Series*, doi: 10.1088/1742-6596/1524/1/012080
- [8] Nur Farida Grafiana, Pardoyo, Agus Subagio, Fabrication Material Zeolite Modified by Fe with Treatment and Without High Energy Milling on Zeolite Materials, *Proceeding of 5th International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and Its Application (5th ISNPINSA)* ISSN: 978-602-71169-7-9, [http://eprints.undip.ac.id/62526/1/31.\\_Nur\\_Farida\\_Grafiana\\_et\\_al.pdf](http://eprints.undip.ac.id/62526/1/31._Nur_Farida_Grafiana_et_al.pdf)
- [9] Debashis Panda, E.Anil Kumara, Surface Modification of Zeolite 4A Molecular Sieve by Planetary Ball milling, *5th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.038>
- [10] Pham, T.-H., Lee, B.-K., Kim, J., Lee, C.-H., 2016, Improved Removal of Cd (II) from Aqueous Solution by Synthesized Nanozeolite, *Desalination and Water Treatment*, 57 (60): 29457-29466, <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1155178>
- [11] Irannajad, M., Haghighi, H. K., Mohammad jafari, A., 2016, Heavy Metals Adsorption by Nanozeolites: Effect of Sodium Hexametaphosphate, *Environmental Earth Sciences* 75 (13): 1-7, <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5851-7>
- [12] Kurniawan, T., Muraza, O., Miyake, K., Hakeem, A. S., Hirota, Y., Al-Amer, A. M., Nishiyama, N., 2017, Conversion of Dimethyl Ether to Olefins over Nanosized Mordenite Fabricated by a Combined High-Energy Ball Milling with Recrystallization. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 56(15): 4258-4266.

Doi:

- [13] P. Pardoyo, L. Listiana, A. Darmawan, Pengaruh Perlakuan HCl pada Kristalinitas dan Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam terhadap ion  $\text{Ca}^{2+}$ , *Jurnal sains dan matematika*, 17, 2, 100-104, 2010.[Online] <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/sm/article/view/3144>.
- [14] M. Shariful Islam, Benjamin J. Mohr, Performance of clinoptilolite zeolite after milling as a pretreatment on hydration kinetics, shrinkage, and alkali-silica reaction of cementitious materials, *Cement*, 12 (2023) 100069, <https://doi.org/10.1016/j.cement.2023.100069>
- [15] Lilis Agusetiani, Pardoyo, A. Subagio. , 2013, Pembuatan Nanozeolit dari Zeolit Alam Secara top down menggunakan high energy milling dan aplikasinya untuk penyerapan ion  $\text{Fe}^{3+}$ , *chem info jurnal*, (1), 174–181
- [16] M. Muhriz, A. Subagio, P. Pardoyo, Pembuatan Zeolit Nanopartikel dengan Metode High Energy Milling, *Jurnal Sains dan Matematika*, 19(1) 2011. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/sm/article/view/7900>
- [17] Shaobin Wang, T. Terdkiatburana, M.O. Tade', Adsorption of Cu(II), Pb(II) and humic acid on natural zeolite tuff in single and binary systems, *Separation and Purification Technology*, 62 (2008) 64–70, doi:10.1016/j.seppur.2008.01.004
- [18] Pearson RG. (1963). Hard and soft acids and bases. *J.Am.Soc.* 85: 3533-3539.
- [19] Wulfsberg, G. 1991. Principle of Descriptive Inorganic Chemistry. California: University Science Book.