

ADSORPSI ION Pb(II) OLEH ZEOLIT ALAM ENDE TERAKTIVASI ASAM: STUDI PENGEMBANGAN MINERAL ALTERNATIF PENJERAP LIMBAH LOGAM BERAT

Yulius Dala Ngapa¹, Jumilah Gago²

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan - Universitas Flores,
Jl. Sam Ratulangi Ende-Flores, Indonesia, 86319
ydalangapa@gmail.com

² Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan - Universitas Flores
Jl. Sam Ratulangi Ende – Flores, Indonesia, 86319
jumilah88gago@gmail.com

ABSTRAK: Peningkatan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan zeolit alam Ende - NTT sudah dilakukan melalui proses aktivasi kimia. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan adsorben yang efektif mengurangi kadar logam Pb(II) dalam larutan. Aktivasi zeolit alam tersebut dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam klorida (HCl) dan dikarakterisasi menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sementara proses adsorpsi ion Pb(II) menggunakan zeolit alam teraktivasi tersebut dipelajari pada variasi pH dan waktu kontak. Konsentrasi ion Pb(II) sebelum dan sesudah penyerapan ditentukan dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum HCl untuk proses aktivasi tersebut adalah 3,0 M. Kondisi optimum penyerapan ion logam tersebut terjadi pada pH 4 dan waktu kontak selama 60 menit. Kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan maksimum zeolit alam terhadap ion logam Pb(II) berturut-turut sebesar 24.843 mg/g dan 99.37%.

Kata kunci: zeolit alam, adsorpsi, aktivasi, logam berat, timbal (II)

ABSTRACT: The improvement of adsorption capacity and absorption efficiency of natural zeolite from Ende - NTT has been carried out by chemical process activation using chloric acid (HCl). The purpose of this research was to produce adsorbent that effectively reduce the Pb(II) concentration from solution. The adsorption of the activated natural zeolite on Pb (II) was studied by varying the HCl concentration, pH of the solution, and contact time. The characterization of the activated natural zeolite was conducted with X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM). Meanwhile the concentration of ion Pb (II) was measured by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The optimum HCl concentration for the activation process was 3.0 M. Moreover, the optimum pH of the solution and contact time were 4 and 60 minutes respectively with the adsorption capacity and the efficiency were 24.843 mg/g and 99.37% respectively.

Keywords: natural zeolite, adsorption, activation, heavy metal, lead (II)

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi serta perkembangan industri yang terus meningkat banyak memberikan dampak

terhadap manusia dan lingkungan. Seiring dengan meningkatnya aktivitas industri, maka semakin banyak pula limbah yang

mengganggu lingkungan terutama air [1]. Menurut Said [2] limbah yang berasal dari industri dapat berupa kontaminasi bakteriologis maupun limbah anorganik dalam bentuk logam berat seperti timbal (Pb), nikel (Ni), kadmium (Cd), perak (Ag), besi (Fe), merkuri (Hg), dan tembaga (Cu).

Logam timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang ditemukan pada limbah industri metalurgi, penambangan, pelapisan baterai, pemurnian minyak bumi, dan lain-lain [3]. Karena sifatnya yang *non-biodegradable* maka akan terakumulasi pada organ dalam tubuh manusia, bersifat toksik, serta mengakibatkan berbagai efek kesehatan dan penyakit yang serius [4]. Keracunan Pb menyebabkan kerusakan besar pada ekosistem dan kesehatan manusia seperti gangguan sistem pusat saraf, hati, ginjal, sistem reproduksi, peredaran darah, serta kematian biota perairan [5]. Kadar maksimum Pb yang dianjurkan pada limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 [6] adalah 0,1 mg/L, sedangkan menurut SNI 013553-2006 [7] kadar maksimum Pb yang diperbolehkan adalah 0,005 mg/L. Masalah terkait pencemaran lingkungan memotivasi para peneliti untuk menyelidiki teknologi yang dapat mengurangi dampak yang disebabkan limbah logam Pb(II) dan memastikan kualitas hidup manusia dan lingkungan menjadi lebih baik.

Banyak metode telah dikembangkan untuk menurunkan dan menghilangkan kandungan Pb(II) seperti adsorpsi, pertukaran ion, proses membran, osmosis balik, presipitasi, oksidasi kimia, koagulasi [8,9]. Di antara metode-metode ini, adsorpsi diakui sebagai salah satu metode yang paling efektif. Pengoperasiannya yang mudah, desain sederhana, hemat energi, serta tidak menimbulkan efek samping yang beracun [10].

Adsorpsi merupakan proses penjerapan suatu zat (adsorbat) pada permukaan zat lain

(adsorben) karena adanya gaya tarik molekul yang terjadi antara adsorbat dan adsorben. Dewasa ini, inovasi penelitian yang dikembangkan sebagai adsorben adalah sumber daya mineral yang ketersediaannya di alam dalam jumlah yang cukup besar, memiliki kemampuan adsorpsi yang baik serta bersifat lebih ekonomis. Salah satu adsorben yang menjanjikan adalah zeolit alam [11].

Zeolit merupakan suatu alumino silikat terhidrat yang dibangun oleh kumpulan tetrahedral TO_4 ($T = Al, Si$) dengan atom O sebagai penghubung antara atom Si dan Al membentuk rongga dan pori yang ditempati oleh molekul-molekul air dan kation [12]. Cadangan zeolit alam yang terdapat di kabupaten Ende provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) sebesar 20 juta ton [13]. Cadangan yang cukup besar tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal, di berbagai bidang seperti industri dan lingkungan.

Pemanfaatan zeolit alam Ende di bidang lingkungan sebagai adsorben limbah pewarna kation telah dilakukan oleh Ngapa *et al.* [14]. Hasilnya menunjukkan bahwa kemampuan zeolit alam Ende sebagai adsorben biru metilena tidaklah berbeda signifikan dengan kemampuan zeolit alam yang berasal dari Bayah dan Cikalong.

Umumnya zeolit alam memiliki rasio Si/Al yang tinggi namun masih mengandung pengotor-pengotor dalam bentuk oksida logam sehingga luas permukaannya rendah. Peningkatan daya guna zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui perlakuan aktivasi. Terdapat dua proses aktivasi, yaitu secara fisika dan secara kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan cara kalsinasi sedangkan aktivasi kimia dilakukan dengan penambahan asam atau basa [15].

Untuk lebih mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya mineral zeolit yang tersedia, maka diperlukan kajian mengenai potensi dan karakterisasi zeolit alam Ende sebagai adsorben. Penelitian ini

dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi zeolit alam Ende dalam menurunkan kadar logam Pb(II) yang merupakan salah satu sumber pencemaran anorganik. Karakterisasi dan aktivasi zeolit alam yang digunakan dilakukan secara kimia. Penelitian ini juga merupakan upaya awal dalam mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh logam-logam berat.

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah adsorben zeolit alam Ende – NTT, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (merck) dan HCl (p.a), HNO_3 (p.a), NaOH (merck). Alat-alat yang digunakan adalah peralatan gelas, tanur, sentrifugasi, oven, shaker, serta instrument berupa: pengujian karakterisasi zeolit menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) Shimadzu-XRD 7000, untuk mengetahui morfologi Kristal zeolit menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) Carl-Zeiss Bruker EVO MA10, penentuan kadar logam Pb(II) dalam larutan menggunakan AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometer*) Shimadzu AA-7000.

2.2 Metode

Preparasi Zeolit Alam

Zeolit alam asal Ende bentuk bongkahan dihaluskan hingga lolos ayakan 200 mesh. Zeolit selanjutnya dicuci dengan akuades, dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam.

Aktivasi Zeolit Alam

100 gram zeolit alam ditambahkan larutan HCl pada konsentrasi 0; 0,5 M; 1,5 M; 3 M; dan 5 M. Campuran diaduk dengan magnetik stirer selama 3 jam, selanjutnya dibilas dengan akuades hingga diukur pH

campuran netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 4 jam.

Karakterisasi Zeolit Alam

Karakterisasi zeolit alam Ende dianalisis dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), morfologi permukaan zeolit alam dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Logam Pb(II) oleh Zeolit Alam Ende

Penentuan kondisi optimum dilakukan dengan menggunakan metode tumpak. Sebanyak 0.05 gram sampel zeolit alam dicampurkan dengan 50 mL larutan Pb(II) 25 mg/L dalam erlenmeyer, kemudian dikocok menggunakan *shaker*. Selanjutnya campuran disentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 30 menit. Kadar larutan Pb(II) yang tidak teradsorpsi dalam filtrat diukur menggunakan AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometer*). Kondisi adsorpsi yang digunakan adalah pH (2, 4, 6, 8, dan 10) dan waktu kontak (15, 30, 60, 90, dan 120 menit).

Perhitungan:

$$q_e = \frac{V(C_o - C_e)}{m}$$

$$\varepsilon = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\%$$

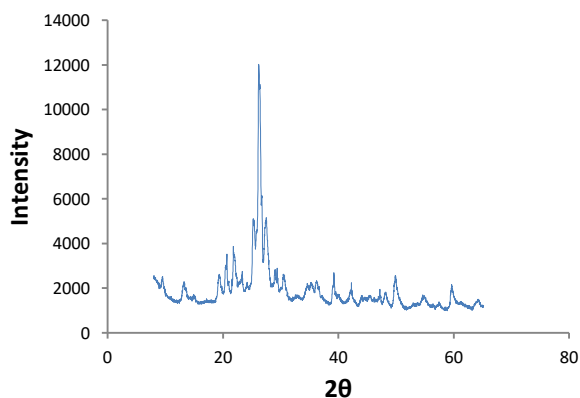
Keterangan :

- q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)
- ε = efisiensi penyerapan (%)
- V = volume larutan (L)
- C_o = konsentrasi awal ion Pb (mg/L)
- C_e = konsentrasi akhir ion Pb (mg/L)
- m = massa zeolit (gram)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam

Banyaknya kandungan oksida logam dan air yang terkandung dalam zeolit alam menyebabkan kemampuan adsorpsinya rendah. Dengan demikian, untuk memperbaiki kelemahan tersebut zeolit alam yang akan digunakan terlebih dahulu mengalami proses preparasi. Preparasi dilakukan dengan mengubah ukuran bongkahan zeolit alam menjadi serbuk halus yang lolos ayakan 200 mesh. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan kontak sehingga jumlah sisi adsorpsinya lebih besar [16]. Tahap pemanasan bertujuan untuk menghilangkan uap air dan pengotor yang berpotensi menutup pori zeolit. Difraktogram zeolit alam ditampilkan pada Gambar 1.

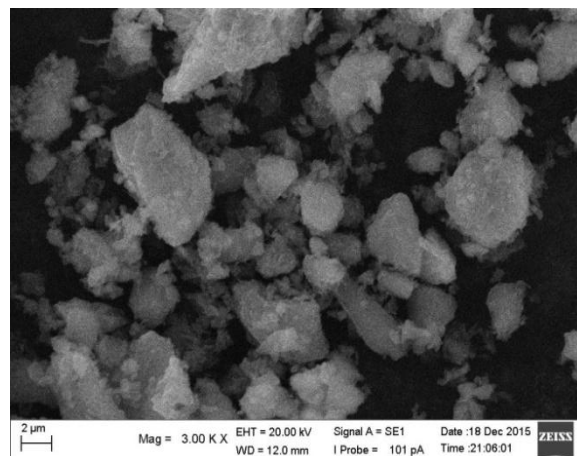


Gambar 1 Difraktogram zeolit alam Ende

Gambar 1 menunjukkan bahwa jenis zeolit alam Ende adalah campuran klinoptilolit dan mordenit. Hal ini dibuktikan oleh puncak-puncak karakteristik pada data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) dengan intensitas tinggi yang muncul pada sudut 25.60° , 26.25° , dan 27.67° untuk mordenit, serta intensitas pencirian klinoptilolit muncul pada sudut 9.74° , 13.38° , dan 29.07° . Puncak-puncak dengan intensitas tertinggi dimiliki oleh mordenit hal ini

mengindikasikan bahwa mordenit merupakan jenis zeolit alam dengan kelimpahan besar di kabupaten Ende dibandingkan klinoptilolit.

Morfologi partikel kristal zeolit diamati dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada perbesaran 3000x. Gambar 2 menunjukkan morfologi permukaan zeolit alam Ende. Menurut Cardoso *et al.* [17] indikasi zeolit alam berdasarkan pengamatan SEM ditunjukkan dengan material berupa susunan lembaran pipih berbentuk seperti batangan dengan susunan acak dan menumpuk.



Gambar 2 Morfologi permukaan zeolit alam Ende

Kondisi Optimum Adsorpsi dan Isoterm Adsorpsi Pb(II) oleh Zeolit Alam Ende

Setiap adsorben memiliki kondisi optimum yang berbeda-beda saat berinteraksi dengan adsorbat. Oleh karena itu, penentuan kondisi optimum adsorpsi yang meliputi konsentrasi HCl, pH, dan waktu kontak bertujuan untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara adsorben zeolit dan adsorbat Pb(II) dengan optimal dan dapat diperoleh hasil yang efisien.

Aktivasi Zeolit Alam

Banyaknya pengotor yang terdapat di dalam zeolit alam akan menyebabkan

aktivitas adsorpsinya menjadi tidak maksimal. Perlakuan aktivasi menggunakan HCl pada berbagai variasi konsentrasi akan mengubah permukaan dari zeolit, karena asam (HCl) dapat membersihkan pengotor-pengotor berupa oksida logam. Perlakuan pemanasan bertujuan untuk menghilangkan uap air yang terjerap di dalam zeolit. Terlepasnya uap air akan menyebabkan terbentuknya ruang kosong sehingga aktivitas adsorpsinya mengalami peningkatan [18].

Tabel 1 menunjukkan pengaruh variasi konsentrasi HCl yang digunakan dalam proses aktivasi zeolit alam terhadap kemampuan adsorpsi logam Pb(II). Proses aktivasi mampu menghilangkan oksida logam yang menutupi permukaan sehingga bidang kontak zeolit dengan adsorbat Pb(II) menjadi lebih besar.

Tabel 1. Kapasitas Adsorpsi Zeolit Alam terhadap Logam Pb(II) pada Berbagai Konsentrasi HCl

[HCl]	Efisiensi Penyerapan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
0 M	61.74	15.435
0.5 M	68.87	17.218
1.5 M	76.34	19.085
3.0 M	85.45	21.363
5.0 M	73.58	18.395

Rongga-rongga kosong terbentuk karena larutnya oksida logam pada saat aktivasi akan menyebabkan permukaan zeolit menjadi lebih aktif. Hal ini ditandai dengan meningkatnya kemampuan adsorpsi pada penggunaan HCl hingga konsentrasi 3 M [19]. Akan tetapi kondisi asam pada konsentrasi tertentu memberikan dampak pada penurunan kapasitas adsorpsinya. Penggunaan HCl dengan konsentrasi yang lebih besar lagi akan merusak struktur permukaan zeolit.

Penentuan pH optimum

Salah satu parameter penting yang menentukan penyerapan logam Pb(II) oleh zeolit alam adalah derajat keasaman (pH). Perubahan pH dapat mempengaruhi sifat kimia dan permukaan dari adsorben, kelarutan ion logam, serta kompetisi ion logam dalam proses penyerapan [20]. Kapasitas adsorpsi dan penyerapan logam Pb(II) pada variasi pH ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kapasitas Adsorpsi Zeolit Alam terhadap Logam Pb(II) pada Berbagai pH

pH	Efisiensi Penyerapan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
2	84.86	21.215
4	96.78	24.195
6	82.14	20.535
8	76.46	19.115
10	70.17	17.543

Adsorpsi zeolit alam terhadap logam Pb(II) mengalami kenaikan pada pH 4 (pH optimum) yaitu sebesar 24.195 mg/g, dan mengalami penurunan pada pH 6 hingga 10. Kenaikan kemampuan adsorpsi pada pH = 4 mengindikasikan bahwa proses adsorpsi logam Pb(II) dipengaruhi oleh interaksi elektrostatis atau pertukaran ion dengan ion H^+ pada sisi aktif zeolit. Penurunan kapasitas adsorpsi pada pH yang lebih tinggi disebabkan pada kondisi tersebut sudah terlewatinya harga K_{sp} dan terbentuk endapan $Pb(OH)_2$.

Penentuan waktu kontak optimum

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi zeolit alam teraktivasi HCl terhadap ion logam Pb(II) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kapasitas Adsorpsi Zeolit Alam terhadap Logam Pb(II) pada Berbagai Waktu Kontak

Waktu Kontak (menit)	Efisiensi Penyerapan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
15	91.15	22.787
30	94.77	23.692
60	99.37	24.843
90	96.89	24.223
120	96.34	24.085

Penentuan waktu kontak optimum dalam proses adsorpsi bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben dalam menyerap logam secara maksimal. Waktu kontak adsorben zeolit dalam mengadsorpsi logam Pb(II) mengalami kenaikan hingga pada 60 menit (waktu kontak optimum), kemudian mengalami sedikit penurunan di menit berikutnya. Hal ini disebabkan adsorben zeolit sudah pada keadaan jenuh sehingga tidak mampu lagi mengikat logam Pb(II). Sisi aktif pada permukaan zeolit telah diisi penuh oleh sejumlah adsorbat sehingga penambahan waktu adsorpsi hanya akan memengaruhi sedikit peningkatan pada kapasitas adsorpsinya atau cenderung konstan. Pada penentuan waktu kontak optimum perlu diketahui bahwa semakin lama waktu adsorpsi makan efek kestabilan listrik akan terganggu sehingga kapasitas adsorpsi setelah waktu kontak 60 menit cenderung menurun.

Kemampuan adsorpsi zeolit alam Ende tidaklah berbeda jauh dengan beberapa mineral lainnya. Perbandingan nilai kapasitas adsorpsi zeolit alam Ende terhadap logam Pb(II) dengan beberapa *clay mineral* yang telah dilaporkan sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas adsorpsi zeolit alam Ende dan beberapa *clay mineral* terhadap logam Pb(II)

Mineral	Q _{max} (mg/g)	Literatur
Zeolit alam Ende	24,8	Studi
Semnan Zeolite	25.3	
Georgia Kaolinite	11.5	[21]
Iranian zeolite	27.7	

4. KESIMPULAN

Perlakuan aktivasi terhadap zeolit alam Ende – NTT dapat dilakukan dengan menggunakan HCl pada berbagai konsentrasi. Hal ini memberikan pengaruh terhadap kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan zeolit alam terhadap logam Pb(II). Berdasarkan hasil analisis optimalisasi aktivasi zeolit diketahui bahwa konsentrasi optimum larutan HCl yang dapat digunakan untuk proses aktivasi adalah 3.0 M. Karakteristik adsorpsi ion logam Pb(II) pada adsorben zeolit alam Ende – NTT dipengaruhi oleh derajat keasaman (pH) dan waktu kontak antara adsorben zeolit dan ion logam Pb(II), di mana Pb(II) teradsorpsi optimum pada pH = 4 dan waktu kontak 60 menit.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yayasan Perguruan Tinggi Flores yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Yapertif tahun 2019 serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Flores yang memberikan dukungan dan kesempatan sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Delkash M., Bakhshayesh B.E., Kazemian H. Using zeolitic adsorbents to clean up special wastewater streams: A review. *Microporous and*

- Mesoporous Materials*. 2015, 214, 224-241.
- [2] Said N.I. Metode penghilangan logam berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, Zn) di dalam air limbah industri. *Jurnal Air Indonesia*. 2010, 6(2), 136-148.
- [3] Khodadadi M., Ansaritabar M., Malekpour A. Removal of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solutions by NaA zeolite coated magnetic nanoparticles and optimization of method using experimental design. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2017, 248, 256-265.
- [4] Javanbakht V., Ghoreishi S.M., Habibi N., Javanbakht M. Anovel magnetic chitosan/ clinoptilolite/ magnetite nanocomposite for highly efficient removal of Pb(II) ions from aqueous solution. *Powder Technology*. 2016, 302, 372-383.
- [5] Milani M.B., Ejhieh A.N. A comprehensive study on photocatalytic activity of supported Ni/Pb sulfide and oxide system onto natural zeolite nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 2016, 318, 291-301.
- [6] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri. 2014. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- [7] Standar Nasional Indonesia. SNI 01-3553-2006. Air minum dalam kemasan. 2006. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Chen G., Shah KJ., Shi L., Chiang PC. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by synthetic mineral adsorbent: performance and mechanisms. *Applied Surface Science*. 2017, 409, 296-305.
- [9] Pandey P.K., Sharma S.K., Sambhi S.S. Removal of lead(II) from waste water on zeolite-NaX. *Journal of Enviromental Chemichal Engineering*. 2015, 3(4), 2604-2610.
- [10] Zhu L., Ji J., Wang S., Xu C., Yang K., Xu M. Removal of Pb(II) from wastewater using Al₂O₃-NaA zeolite composite hollow fiber membranes synthesized from solid waste coal fly ash. *Chemosphere*. 2018, 206, 278-284.
- [11] Lu X., Wang F., Li X., Shih K., Zeng EY. Adsorption and thermal stabilization of Pb²⁺ and Cu²⁺ by zeolite. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2016, 55(32), 8767-8773.
- [12] Gougazeh M., Buhl J.C. Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformation of natural Jordanian kaolin. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Science*. 2014, 15, 35-42.
- [13] Arryanto., Suwardi., Husaini., Affandi T., Amini S., Al-Jabri M., Siagian P., Setyorini D., Rahman A., Pujiastuti Y. Zeolit dan masa depan bangsa. Yogyakarta (ID), Imperium Pr, 2012.
- [14] Ngapa Y.D., Sugiarti S., Abidin Z. Hydrothermal transformation of natural zeolite from Ende-NTT and its application as adsorbent of cationic dye. *Indones. J. Chem*. 2016, 16(2), 138-143.
- [15] Ngapa Y.D. Kajian pengaruh asam-basa pada aktivasi zeolit dan karakterisasinya sebagai adsorben pewarna biru metilena. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*. 2017, 2(2), 90-96.
- [16] Parast Z.V., Asilian H., Jafari A.J. Adsorption of xylene from air by natural Iranian zeolite. *Health Scope*. 2014, 3(3), 1-8.
- [17] Cardoso A., Horn M., Ferret L., Azevedo C., Pires M. Integrated synthesis of zeoliten 4A and Na-P1

- using coal fly ash for application in the formulation of detergent and swine wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 2015, 287, 69-77.
- [18] Djaeni M., Kurniasari L., Purbasari A., Sasongko S. *Proceeding of the 1st International Conference on Materials Engineering*. 2010, November 25 – 26, Yogyakarta.
- [19] Alshameri A., Yan C., Al-ani Y., Dawood S., Ibrahim A., Zhou C., Wanga H. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2014, 45(2), 554-564.
- [20] Wang X., Shao D., Hou G., Wang X. Uptake of Pb(II) and U(IV) ions from aqueous solutions by the ZSM-5 zeolite. *Journal of Molecular Liquids*. 2015, 207, 338-342.
- [21] Sharifipour F., Hojati S., Cano F.C. Kinetics and thermodynamics of lead adsorption from aqueous solutions onto Iranian sepiolite and zeolite. *Int. J. Environ. Res.* 2015, 9(3), 1001-1010.