

## **ADSORPSI ION FOSFAT DI DALAM AIR MENGUNAKAN ZEOLIT MANGAN KOMERSIAL**

### **(ADSORPTION OF PHOSPHATE ION FROM WATER USING COMMERCIAL MANGANESE ZEOLITE)**

**Kartika Aprianti\*, Lia Destiarti, Nelly Wahyuni**

Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak

\*E-mail : k.aprianti@gmail.com

#### **ABSTRACT**

*Phosphate ions which in excess can causes eutrophication in water bodies. This study investigated the adsorption of phosphate ions by commercial manganese zeolite under varying experimental condition such as contact time and determination of the isotherm adsorption model. The determination of the optimum contact time was studied with a variety of contact time of 30, 60, 90, 120, 180 and 240 minutes for a pH 5 solution and initial concentration of 10 mg/L. The results showed that the optimum contact time of phosphate ions adsorption by commercial manganese zeolite occurs at 120 minutes with the percent adsorption 23,63%. Determination of model isotherm adsorption performed with initial concentration variation of 5, 10, 15, 20 and 25 mg/L. Based on  $R^2$  values, both Langmuir and Freundlich isotherm may describe adsorption of phosphate by commercial manganese zeolite.  $R^2$  value obtained in the Langmuir isotherm was greater than Freundlich isotherm (0,990) so that it can be concluded that the dominant interaction between phosphate ions and commercial manganese zeolite followed Langmuir isotherm model. The maximum adsorption capacity of the phosphate ions by commercial manganese zeolite is equal to 0.078 mg/L.*

*Keywords: adsorption isotherm, commercial manganese zeolite, contact time, phosphate ions*

#### **ABSTRAK**

Keberadaan ion fosfat yang melimpah di perairan akan menyebabkan keadaan eutrofikasi. Pada penelitian ini telah dilakukan penurunan kadar ion fosfat di dalam air menggunakan zeolit mangan komersial dengan kajian pengaruh waktu kontak adsorpsi dan penentuan isotherm adsorpsi. Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90, 120, 180 dan 240 menit pada kondisi pH 5 dan konsentrasi awal 10 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial terjadi pada 120 menit dengan persen adsorpsi sebesar 23,63%. Penentuan model isotherm dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal larutan yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/L. Berdasarkan nilai  $R^2$  yang diperoleh pada isotherm Langmuir dan Freundlich, kedua model isotherm tersebut dapat menggambarkan interaksi antara ion fosfat dengan permukaan zeolit mangan komersial. Namun nilai  $R^2$  pada isotherm Langmuir lebih besar daripada Freundlich, maka isotherm Langmuir lebih mendominasi pada adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial. Kapasitas adsorpsi maksimum zeolit mangan komersial terhadap ion fosfat sebesar 0,078 mg/g.

*Katakunci: ion fosfat, isotherm adsorpsi, waktu kontak, zeolit mangan komersial*

## 1. PENDAHULUAN

Keberadaan ion fosfat yang melimpah di dalam air akan menyebabkan eutrofikasi. Fenomena eutrofikasi dapat memicu pertumbuhan alga dan mikroorganisme sehingga keadaan perairan menjadi berwarna hijau, keruh, berbau tidak sedap dan menurunkan kadar oksigen [1]. Saat ini sedang dikembangkan beberapa metode mengenai penurunan kadar ion fosfat di dalam air. Beberapa metode tersebut antara lain dengan menggunakan penukar ion, elektrokoagulasi, dan adsorpsi [2], [3], [4]. Adsorpsi merupakan metode yang banyak dikembangkan karena lebih ekonomis dan mudah diaplikasikan.

Beberapa oksida logam seperti aluminium, besi, dan mangan telah diketahui dapat mengadsorpsi ion fosfat di dalam air dengan persen penurunan kadar ion fosfat masing-masing sebesar 89,1%, 94% dan 95% [5], [6], [7]. Mangan dioksida diketahui memiliki persen penurunan kadar ion fosfat tertinggi dibandingkan dengan oksida logam lainnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yao and Millero (1996) [7], mangan dioksida dapat menyerap anion seperti ion fosfat karena mangan dioksida dapat berinteraksi dengan ion fosfat baik melalui pembentukan ikatan kimia maupun interaksi elektrostatik. Material alam yang dimodifikasi dengan mangan dioksida juga diketahui dapat menurunkan kadar ion fosfat di dalam air. Berdasarkan penelitian Boujelben *et al.* (2013) [4], pasir terlapis mangan dioksida dapat menyerap ion fosfat dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,96 mg/g.

Zeolit mangan komersial merupakan material zeolit yang permukaannya dimodifikasi dengan mangan dioksida. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Aprianti *et al.* (2015) [8] zeolit mangan komersial terdiri dari material pengemban berupa zeolit jenis mordenit dan mineral mangan dioksida dalam bentuk pirolusit. Selain itu, Aprianti *et al.* (2015) [8] juga mengkaji pengaruh pH larutan ion fosfat terhadap adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial telah dilakukan oleh. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa zeolit mangan komersial dapat menurunkan kadar ion fosfat sebesar 23,63% pada pH optimum 5. Namun hingga saat ini, penelitian mengenai pengaruh waktu kontak zeolit mangan komersial dengan ion fosfat terhadap proses adsorpsi dan isoterm adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial masih belum dilakukan.

Pada penelitian ini, akan dilakukan penentuan waktu kontak optimum proses adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial dan isoterm adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial. Pengaruh waktu kontak pada proses adsorpsi perlu dilakukan untuk mengetahui waktu minimum yang diperlukan agar ion fosfat dapat terserap secara optimal ke permukaan adsorben. Sedangkan isoterm adsorpsi perlu dilakukan untuk mengetahui interaksi antara ion fosfat dengan zeolit mangan komersial. Penentuan model isoterm

adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini adalah isoterm Freundlich dan isoterm Langmuir.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas standar, pH meter Hanna Instrument, desikator, *hot plate*, oven, *shaker*, spektrofotometer UV-Vis Genesys 6, dan *stirrer*. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu air demineral, ammonium molibdat, ammonium vanadat, asam nitrat, natrium hidroksida, natrium dihidrogen fosfat, dan zeolit mangan komersial.

### **2.2 Prosedur Penelitian**

#### *Preparasi Zeolit Mangan Komersial*

Zeolit mangan komersial diayak agar diperoleh ukuran partikel yang homogen. Selanjutnya zeolit mangan dicuci dan direndam dalam air demineral selama 24 jam lalu dibilas dengan air demineral dan dikeringkan pada suhu 105°C [9].

#### *Penentuan Kadar Ion Fosfat dengan Spektrofotometer UV-Vis*

Penentuan kadar ion fosfat dengan spektrofotometri UV-Vis dilakukan berdasarkan metode vanadat-molibdat. Reagen dibuat dengan cara melarutkan 0,1175 gram ammonium metavanadat ke dalam 15 mL air panas dan ditambahkan 20 mL HNO<sub>3</sub> pekat (larutan A). Selanjutnya sebanyak 2 gram ammonium molibdat dilarutkan ke dalam 20 mL air panas (larutan B). Kedua larutan A dan B didinginkan lalu dicampur dan ditepatkan dengan air hingga 100 mL. Sampel yang mengandung ion fosfat diambil sebanyak 10 mL dan ditambahkan dengan reagen vanadat-molibdat sebanyak 1 mL. Campuran didiamkan selama 15 menit dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 400 nm dengan spektrofotometer UV-Vis [10].

#### *Penentuan Waktu Kontak Optimum*

Sampel zeolit terlapis mangan dioksida sebanyak 4 gram dimasukkan ke dalam 50 mL larutan fosfat dengan konsentrasi 10 mg/L. Larutan diatur agar mencapai pH 5 dengan penambahan HNO<sub>3</sub> 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Selanjutnya larutan diaduk dengan variasi waktu kontak selama 30, 60, 90, 120, 150, 180 dan 240 menit. Larutan lalu disaring dan filtrat dianalisis kadar ion fosfat dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Prosedur dilakukan sebanyak tiga kali [4].

### *Penentuan Model Isoterm Adsorpsi*

Sampel zeolit mangan sebanyak 4 gram dimasukkan ke dalam 50 mL larutan fosfat dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/L. Larutan diatur agar mencapai pH 5 dengan penambahan HNO<sub>3</sub> 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Selanjutnya larutan diaduk dengan waktu kontak optimum. Larutan lalu disaring dan filtrat dianalisis kadar ion fosfat dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Prosedur dilakukan sebanyak tiga kali [4].

Persamaan isoterm Langmuir yang digunakan pada penelitian ini yaitu [11]:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{bQ} \frac{1}{C_e}$$

Dimana  $q_e$  adalah konsentrasi adsorbat yang terserap (mg/g),  $Q$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g),  $b$  adalah konstanta adsorpsi, dan  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat di larutan. Sedangkan persamaan isoterm Freundlich yang digunakan pada penelitian ini yaitu [11]:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

Dimana  $K_f$  dan  $n$  merupakan konstanta adsorpsi dan intensitas adsorpsi.

### *Penentuan Persen Adsorpsi Ion Fosfat*

Penentuan persentase penurunan kadar ion fosfat dalam air dihitung berdasarkan persamaan berikut [12]:

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\%$$

Nilai  $C_0$  menunjukkan konsentrasi awal ion fosfat sebelum adsorpsi dan  $C$  adalah konsentrasi akhir ion fosfat setelah proses adsorpsi, maka % penurunan menunjukkan konsentrasi ion fosfat yang terserap oleh zeolit mangan komersial. Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan persamaan berikut [13]:

$$q = \frac{(C_0 - C)v}{m}$$

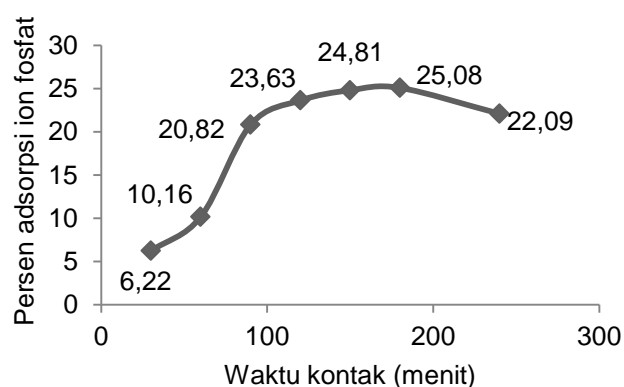
Dimana  $q$  adalah kapasitas adsorpsi (mg/g),  $m$  adalah masa adsorben yang digunakan (gram) dan  $v$  adalah volume larutan (liter).

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Ion Fosfat**

Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion fosfat dilakukan pada pH larutan 5 dan konsentrasi awal larutan 10 mg/L [8]. Spesi ion fosfat yang dominan pada pH 5 adalah H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> yang dapat berikatan dengan baik ke permukaan adsorben [14]. Pada saat awal

proses adsorpsi, penyerapan ion fosfat meningkat dengan bertambahnya waktu kontak adsorpsi. Peningkatan persen adsorpsi ion fosfat terjadi dengan cepat pada menit ke 30 hingga 120 sebesar 17,41%. Hal ini karena gugus aktif pada permukaan adsorben masih belum berikatan dengan molekul molekul adsorbat sehingga memudahkan terjadinya proses pertukaran ligan maupun interaksi elektrostatik antara ion  $H_2PO_4^-$  dengan zeolit mangan komersial. Seiring dengan meningkatnya waktu kontak adsorpsi, ion fosfat yang teradsorpsi ke permukaan adsorben semakin bertambah sehingga gugus aktif permukaan adsorben yang belum berikatan semakin sedikit. Pada tahap ini adsorpsi ion fosfat cenderung lebih lambat yaitu terjadi pada menit ke 120 hingga 180 dengan peningkatan persen adsorpsi sebesar 1,45%



Gambar 1 Grafik pengaruh waktu kontak terhadap persen adsorpsi ion fosfat

Penurunan persen adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial sebesar 2,99% terjadi pada menit ke 180 hingga 240. Hal ini disebabkan telah terjadi kesetimbangan antara ion fosfat yang terserap dengan ion fosfat yang masih berada pada larutan [11]. Pada saat terjadi kesetimbangan seluruh gugus aktif yang terdapat pada permukaan adsorben telah berikatan dengan ion fosfat, sehingga adsorben telah jenuh dan tidak dapat mengikat ion fosfat lebih banyak lagi [15].

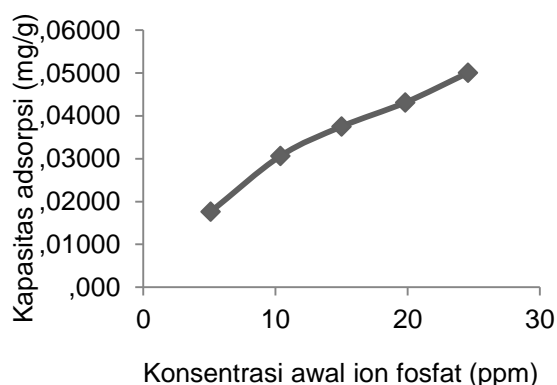
Hasil dari penelitian yang diperoleh yaitu pengaruh waktu kontak terhadap persen adsorpsi ion fosfat selanjutnya diuji statistik dengan uji F dan uji Beda Nyata Terkecil untuk mengetahui apakah persen penurunan konsentrasi ion fosfat untuk setiap variasi waktu kontak berbeda nyata atau tidak, sehingga dapat diketahui waktu kontak optimum pada proses adsorpsi ion fosfat. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil penurunan konsentrasi ion fosfat pada waktu kontak 120 menit dengan waktu kontak 30, 60, dan 90 menit namun tidak berbeda signifikan dengan waktu kontak 150, 180 dan 240 menit. Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa waktu kontak adsorpsi ion fosfat oleh adsorben zeolit mangan komersial terjadi secara optimum pada 120 menit.

Persen adsorpsi ion fosfat optimum terjadi pada waktu kontak 120 menit yaitu sebesar 23,63%. Hasil tersebut relatif rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Jianbo *et al.* (2009) [6] melaporkan bahwa penurunan konsentrasi ion fosfat oleh pasir terlapis besi sebesar 94% dalam waktu 120 menit. Persen adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial dapat ditingkatkan dengan mengetahui kondisi-kondisi optimum proses adsorpsi seperti masa adsorben yang digunakan, suhu, dan ukuran partikel adsorben.

### 3.2 Isoterm Adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi dilakukan pada pH 5 dengan waktu kontak optimum 120 menit untuk variasi konsentrasi awal ion fosfat 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm. Berdasarkan grafik hubungan konsentrasi awal ion fosfat terhadap kapasitas adsorpsi ion fosfat, semakin tinggi konsentrasi awal ion fosfat maka semakin besar adsorpsi ion fosfat. Hal ini disebabkan karena gugus aktif pada permukaan adsorben masih belum jenuh sehingga penambahan konsentrasi ion fosfat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pada penelitian ini digunakan konsentrasi tertinggi sebesar 25 ppm. Hal ini karena air limbah domestik di Penang, Malaysia yang mengandung ion fosfat memiliki rentang 3-15 ppm, sehingga rentang konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini sudah mencakup konsentrasi ion fosfat di air limbah [16].

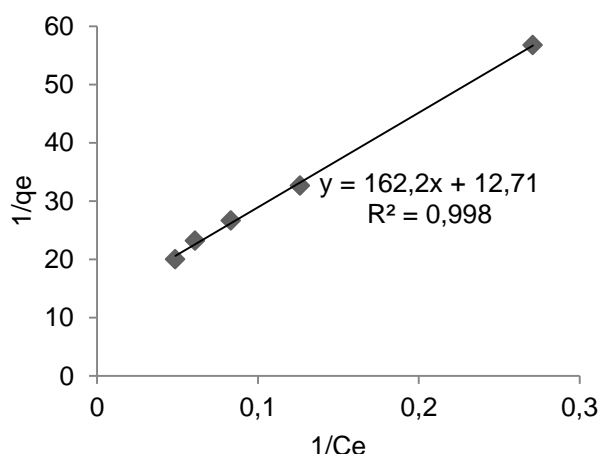


Gambar 2 Grafik hubungan konsentrasi awal ion fosfat terhadap kapasitas adsorpsi

Pada umumnya model isoterm adsorpsi menggambarkan proses terikatnya adsorbat ke permukaan adsorben pada saat mencapai keadaan setimbang dengan suhu yang konstan [11]. Adsorpsi ion fosfat oleh material padatan pada umumnya mengikuti model isoterm Langmuir dan Freundlich. Boujelben *et al.* (2013) [4] melaporkan bahwa adsorpsi ion fosfat pada pasir terlapis mangan oksida bersesuaian dengan model isoterm Langmuir dan Freundlich, namun nilai  $R^2$  pada isoterm Langmuir lebih besar daripada nilai  $R^2$

isoterm Freundlich. Sedangkan Hamdi dan Srasra (2011) [17] melaporkan adsorpsi ion fosfat oleh zeolit dan lempung mengikuti model isoterm Freundlich.

Interaksi permukaan adsorben dengan molekul adsorbat pada isoterm Langmuir yaitu berupa ikatan kimia dimana satu gugus aktif adsorben akan mengikat satu molekul adsorbat sehingga membentuk lapisan monolayer [18]. Zeolit mangan komersial mengandung mangan dioksida [8] yang dapat berperan sebagai gugus fungsi untuk berikatan dengan ion fosfat membentuk *inner sphere complexes* [19]. Gambar 4 merupakan grafik isoterm Langmuir yang diperoleh dengan cara memplotkan nilai  $1/q_e$  terhadap  $1/C_e$ . Dari persamaan garis linear grafik tersebut diperoleh nilai kapasitas adsorpsi maksimum (Q), konstanta adsorpsi Langmuir (b) dan koefisien relasi ( $R^2$ ). Kapasitas maksimum zeolit mangan komersial dalam menurunkan kadar ion fosfat menurut isoterm Langmuir yaitu sebesar 0,079 mg/g sedangkan nilai konstanta adsorpsi Langmuir sebesar 0,078.

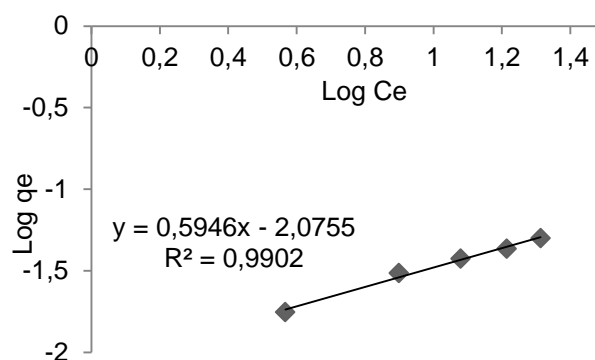


Gambar 4 Grafik Isoterm Langmuir adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial

Pada isoterm Freundlich, permukaan adsorben bersifat heterogen dan interaksi permukaan adsorben dengan molekul adsorbat terjadi karena adanya interaksi secara fisika serta distribusi molekul adsorbat ke permukaan adsorben terjadi secara *multilayer* [20]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Aprianti *et al.* (2015) [8], zeolit sebagai material pengemban pada zeolit mangan komersial memiliki karakteristik mineral mordenit. Mineral mordenit memiliki pori-pori dengan ukuran 0,65x 0,70 nm [21] sehingga ion-ion fosfat yang memiliki ukuran 0,24 nm [22] dapat didistribusi ke dalam pori zeolit dan membentuk lapisan *multilayer*. Penelitian yang dilakukan oleh Sisyaneswari *et al.* (2014) [23] menyatakan bahwa ion fosfat dapat terperangkap ke dalam pori-pori zeolit sehingga dapat menyebabkan kadar ion fosfat pada limbah deterjen menurun. Selain itu, adanya

interaksi elektrostatik antara permukaan zeolit mangan komersial yang terprotonasi dengan ion fosfat juga dapat menyebabkan terjadinya isoterm adsorpsi Freundlich [19].

Gambar 6 merupakan grafik isoterm Freundlich yang diperoleh dengan memplotkan nilai  $\text{Log } C_e$  terhadap  $\text{Log } q_e$ . Dari hasil persamaan garis linier pada grafik tersebut diperoleh nilai konstanta adsorpsi Freundlich ( $K_f$ ), nilai eksponen isoterm Freundlich ( $n$ ), dan koefisien korelasi ( $R^2$ ). Nilai konstanta adsorpsi Freundlich ( $K_f$ ) menunjukkan kapasitas adsorpsi yaitu sebesar 0,0084 mg/g sedangkan eksponen Freundlich ( $n$ ) yaitu sebesar 1,683.



Gambar 6 Grafik Isoterm Freundlich adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial

Berdasarkan nilai  $R^2$  yang diperoleh pada hasil analisis, adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial secara matematis sesuai dengan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Interaksi yang terjadi pada model isoterm Langmuir adalah Namun nilai  $R^2$  pada isotherm Langmuir sebesar 0,998 lebih tinggi daripada isotherm Freundlich yaitu 0,990. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion fosfat ke permukaan zeolit mangan komersial yang lebih dominan terjadi dengan membentuk ikatan kimia dan membentuk lapisan monolayer.

#### 4. SIMPULAN

Waktu kontak optimum proses adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial terjadi pada waktu kontak 120 menit dengan persen adsorpsi sebesar 23,63%. Secara matematis kedua isoterm Langmuir dan Freundlich dapat menggambarkan proses adsorpsi ion fosfat oleh zeolit mangan komersial namun yang paling dominan adalah model isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 0,079 mg/g.



## 5. PUSTAKA

- [1]. Budi SS. *Penurunan Fosfat dengan Penambahan Kapur (Lime), Tawas dan Filtrasi Zeolit Pada Limbah Cair (Studi Kasus RS Bethesda Yogyakarta)*. Semarang: Universitas Diponegoro Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana. (Tesis); 2006.
- [2]. Behbahani M, Moghaddam A, Arami M. A Comparison Between Aluminum and Iron Electrodes on Removal of Phosphate from Aqueous Solutions by Electrocoagulation Process. *J. Int. Environ.* 2011; 5(2): 403-412.
- [3]. Zhu X, Jyo A. Column-Mode Phosphate Removal by a Novel Highly Selective Adsorbent. *J. Water Research.* 2005; 39(2005): 2301-2308.
- [4]. Boujelben N, Bouhamed F, Elouear Z., Bouzid J, Feki M. Removal of Phosphorus Ions from Aqueous Solutions Using Manganese-Oxide-Coated Sand and Brick. *J. Desalination and Water Treatment.* 2013: 1-11.
- [5]. Han UY, Park SJ, Lee GC, Park JA, Choi NC, King SB. Phosphate Removal from Aqueous Solution by Aluminum (Hydr)oxide-coated Sand. *J. Environ. Eng.* 2009; 14(3): 164-169.
- [6]. Jianbo L, Liping S, Xinhua Z, Bin L, Yinlei L, Lei Z. Removal of Phosphate from Aqueous Solution Using Iron-oxide-coated Sand Filter Media: Batch Studies, Int. Conference on Environmental Science and Information Application Technology. 2009: 639-644.
- [7]. Yao W, Millero FJ. Adsorption of Phosphate on Manganese Dioxide in Seawater, *Environ. Sci. Technol.* 1996; 30(2): 536-541.
- [8]. Aprianti K, Destiarti L, Wahyuni N. Karakterisasi Zeolit Mangan Komersial dan Aplikasinya dalam Mengadsorpsi Ion Fosfat. *J. Kimia Khatulistiwa.* 2015; 4(1): 39-45.
- [9]. Han R, Zou W, Wang Y, Zhu L. Removal of Uranium(VI) from Aqueous Solutions by Manganese Oxide Coated Zeolite: Discussion of Adsorption Isotherms and pH Effect, *J. Environ. Radioactivity.* 2007; 93(2007): 127-143.
- [10]. Environmental Protection Agency (EPA). *Determination of The Phosphate in Solid Waste Using The Vanadomolybdophosphoric Acid Method* [Kaylor WH] (ed), U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Monitoring Solid Waste Research: United States; 1971
- [11]. Ozacar M. Phosphate Adsorption Characteristics of Alunite To Be Used as A Cement Additive. *Cement and Concrete Research.* 2003; 33(2003): 1583-1587.
- [12]. Suprihatin, Indrasti NS. Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. *Makara Sains.* 2010; 14(1): 44-50.

- [13]. Zou W, Han R, Chen Z, Jinghua Z, Shi J. Kinetic Study of Adsorption of Cu(II) and Pb(II) from Aqueous Solutions Using Manganese Oxide Coated Zeolite in Batch Mode. *Colloid and Surface*. 2006; 279(2006): 239- 249.
- [14]. Barber T. Phosphate Adsorption by Mixed and Reduced Iron Phases In Static and Dynamic Systems. California: University of Stanfords, Master of Science Department of Geology: (Thesis). 2002
- [15]. Auliah A. Lempung Aktif Sebagai Adsorben Ion Fosfat dalam Air. *Jurnal Chemica*. 2009; 10(2):14-23.
- [16]. Hussain S, Aziz HA, Isa MH, Ahmad A, Leeuwen JV, Zou L, Beecham S, Umar M. Orthophosphate Removal from Domestic Wastewater Using Limestone and Granular Activated Carbon. *J. Desalination*. 2011; 271(2011): 265-272.
- [17]. Hamdi N, Srasra E. Removal of Phosphate Ions from Aqueous Solution Using Tunisian Clays Minerals and Synthetic Zeolite. *J. Environ. Sci*. 2012; 24(4):617-623.
- [18]. Limousin G, Gaudet JP, Charlet L, Szenknect S, Barthes V, Krimissa M. Sorption Isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Applied Geochemistry*. 2007; 22(2007): 249-275.
- [19]. Sposito G. *The Surface Chemistry of Soils*. Oxford: Oxford Univerity Press; 1984.
- [20]. Rout PR, Bhunia P, Dash RR. Modeling Isotherms, Kinetics, and Understanding The Mechanism of Phosphate Adsorption onto a Solid Waste: Ground Burnt Patties, *J. Environ. Chem. Eng*. 2014: 1-9.
- [21]. Korkuna O, Leboda R, Zieba JS, Vrubleška T, Gun-ko VM, Ryczkowski J. Structural and Physicochemical Properties of Natural Zeolites: Clinoptilolite and Mordenite, *Microporous and Mesoporous Materials*. 2006; 87(2006): 243-254.
- [22]. Manku GS. *Theoretical Principles of Inorganic Chemistry*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited; 1986.
- [23]. Sisyaneswari H, Oktiawan H, Rezagama A. Penurunan TSS, COD, dan Fosfat pada Limbah Laundry Menggunakan Koagulan Tawas dan Media Zeolit. *J. Teknik Lingkungan*. 2014: 3.