



Adsorpsi Ion $H_2PO_4^-$ Menggunakan Komposit Mg/Al- NO_3 Hidrotalsit Magnetit

Miftachul Hidayah , Triastuti Sulistyarningsih, dan Eko Budi Susatyo

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Mei 2018

Disetujui Juni 2018

Dipublikasikan Agustus
2018

Keywords:

adsorption
ions $H_2PO_4^-$
Mg/Al- NO_3 hydrotalcite
magnetite

Abstrak

Adsorpsi fosfat dalam larutan oleh material Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit telah berhasil dilakukan. Penelitian ini diawali dengan sintesis material magnetit (Fe_3O_4) dan Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit yang dilakukan secara kopresipitasi dengan menambahkan larutan basa pada larutan yang mengandung dua kation logam. Material magnetit dan Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Kajian adsorpsi fosfat dalam larutan oleh Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit dilakukan pada variasi pH larutan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa material yang terbentuk merupakan Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit yang memiliki anion nitrat sebagai anion pengisi daerah antarlapis. Hasil terbaik adsorpsi terjadi pada pH 5 dimana fosfat terserap sebesar 0,048 mg/g atau sekitar 98%.

Abstract

The adsorption of phosphate in solution by Mg/Al- NO_3 hydrotalcite magnetite material has been successfully performed. This research begins with the synthesis of magnetite material (Fe_3O_4) and Mg/Al- NO_3 hydrotalcite magnetite which is done by coprecipitation by dripping a basic solution to a solution containing two metal cations. The magnetite and Mg/Al- NO_3 hydrotalcite magnetite synthesized materials were characterized using FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) and XRD (*X-Ray Diffraction*). The phosphate adsorption study in solution by Mg/Al- NO_3 hydrotalcite magnetite was performed on the pH variation of the solution. The characterization results show that the material formed is Mg/Al- NO_3 hydrotalcite magnetite having anion nitrate as an anion of filler between layers. The best adsorption results occur at pH 5 wherein the phosphate is absorbed by 0.048 mg/g or about 98%.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: miftachulhidayah07@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Air bersih sangat diperlukan oleh manusia untuk berbagai kegiatan sehari-hari termasuk pertanian, perikanan, peternakan, industri dan sebagainya. Masalah utama sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan manusia yang terus meningkat dan kualitas air untuk keperluan domestik terus menurun. Hal ini disebabkan karena kerusakan lingkungan perairan yang sudah tercemar oleh bermacam-macam limbah hasil kegiatan manusia. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui adanya pencemaran air adalah senyawa fosfat (Auliah, 2009). Senyawa tersebut banyak berasal dari hasil kegiatan industri seperti industri tekstil, pupuk, *laundry*, dan limbah rumah sakit (Kurniyati *et al.*, 2015; Khusnuryani, 2008).

Tectona (2011), menyatakan bahwa fosfat yang jumlahnya berlebihan akan menimbulkan bahaya eutrofikasi dan ledakan alga laut. Kondisi ini sangat memungkinkan alga dan tumbuhan air berukuran mikro tumbuh berkembang biak dengan cepat. Alga yang berlimpah ini dapat membentuk lapisan pada permukaan air, yang selanjutnya dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari sehingga kurang menguntungkan bagi ekosistem perairan (Hendrawati *et al.*, 2008).

Salah satu metode yang sering digunakan sebagai alternatif pengolahan untuk mengurangi kadar fosfat adalah adsorpsi. Metode adsorpsi umumnya didasarkan pada interaksi antara analit dengan permukaan zat padat (adsorben), yaitu melalui pembentukan kompleks dan atau pertukaran ion (Sutardi, 2005). Banyak material yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben seperti lempung, karbon aktif, zeolit, kitosan, magnetit, dan sebagainya. Hidrotalsit merupakan salah satu material yang sering digunakan sebagai adsorben.

Hidrotalsit biasa dikenal juga sebagai hidroksida lapis ganda (*layered double hydroxide*/LDH), merupakan lempung anionik yang secara struktur dapat dijelaskan sebagai tumpukan lapisan muatan positif dengan anion pada ruang antar lapisan (Cavani *et al.*, 1991). Struktur hidrotalsit diturunkan dari struktur *brucite* dimana ion pusat akan mengikat enam anion hidroksida dalam bentuk oktahedral. Formula umum hidrotalsit yaitu $[M(II)_{1-x}M(III)_x(OH)_2]^b[A^{n-}]_{b/n} \cdot mH_2O$. M(II) dan M(III) adalah kation divalen dan trivalen dengan kisaran x normal antara 0,17 sampai 0,33. A^{n-} adalah anion organik atau anorganik pada antarlapis dengan muatan negatif yang dapat dipertukarkan seperti CO_3^{2-} , OH^- , Cl^- , dan SO_4^{2-} (Klopogge *et al.*, 2004).

Metode yang paling sering digunakan dalam sintesis hidrotalsit adalah metode sintesis langsung secara kopresipitasi atau disebut juga metode pengendapan. Sintesis langsung dimulai dengan menambahkan larutan basa pada larutan yang mengandung dua atau lebih kation logam, baik kation logam divalen dan trivalen, jumlah kation logam divalen dibuat lebih besar daripada kation logam trivalennya (Bejoy, 2001).

Material hidrotalsit sebagai adsorben telah banyak digunakan, namun memiliki kelemahan yaitu sulit untuk dipisahkan dari larutan. Beberapa peneliti melakukan modifikasi material Mg/Al hidrotalsit dengan magnetit yang memiliki sifat dapat menarik untuk memaksimalkan kemampuan material hidrotalsit sebagai adsorben (Zheng *et al.*, 2014).

Pemisahan secara magnetik telah menunjukkan bahwa penambahan komponen magnetik dapat meningkatkan efisiensi pemisahan dari berbagai macam teknik seperti adsorpsi, proses katalitik, dan proses membran (Syamimi *et al.*, 2014). Magnetik yang banyak digunakan adalah Fe_3O_4 karena memiliki respon magnetik yang baik dan luas permukaan yang besar. Hal ini memungkinkan kombinasi Fe_3O_4 dan hidrotalsit untuk meningkatkan pemisahan hidrotalsit dalam larutan air (Zhang *et al.*, 2013). Penelitian ini membahas adsorpsi fosfat dengan menggunakan Mg/Al hidrotalsit yang dimodifikasi dengan gugus magnetit Fe_3O_4 dengan tujuan agar material yang diterapkan sebagai adsorben dapat dipisahkan dengan mudah menggunakan medan magnet eksternal dan dapat digunakan kembali.

Metode

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pH meter, FT-IR *PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00* dan XRD *Bruker 6000*, sedangkan untuk penentuan kadar fosfat menggunakan spektrofotometer UV-Vis *Pharo 300*. Bahan yang digunakan untuk sintesis Mg/Al- NO_3 hidrotalsit-magnetit dan penentuan pH optimum adsorpsi fosfat antara lain $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, NH_4OH ., aquademin, NaOH, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, larutan fosfat dari KH_2PO_4 dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*.

Tahap pertama adalah menimbang $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sebanyak 10,137 g dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ sebanyak 6,9503 g kemudian dilarutkan dalam 25 mL aquademin. Setelah itu larutan ditambahkan dengan NH_4OH 3,5 M tetes demi tetes pada suhu 55 °C sehingga pH menjadi 11 dan didiamkan selama 3 jam sampai

terbentuk endapan. Selanjutnya residu dipisahkan dari filtratnya dan dibilas sampai filtratnya netral. Magnetit hasil sintesis dikeringkan pada suhu 65 °C selama 12 jam.

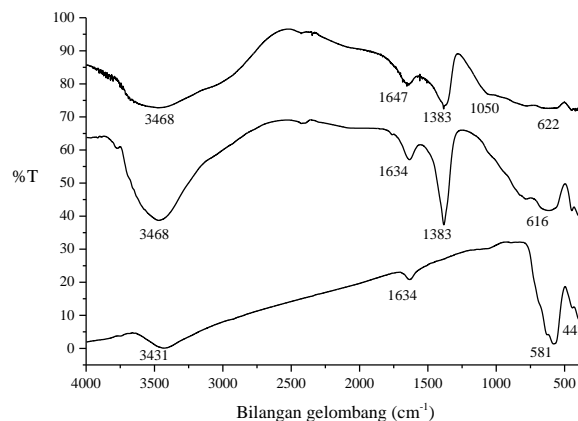
Serbuk Fe₃O₄ sebanyak 0,65 g dilarutkan dalam 50 mL aquademin sebagai larutan 1. Kemudian 12,802 g (0,05 mol) Mg(NO₃)₂·6H₂O dan 9,40 g (0,025 mol) Al(NO₃)₃·9H₂O dilarutkan dalam 100 mL aquademin dalam wadah yang berbeda sebagai larutan 2. Setelah itu larutan 2 dan NaOH 1 M ditambahkan secara tetes demi tetes ke dalam larutan 1 pada suhu 55 °C hingga pH mencapai 11. Campuran didiamkan selama 12 jam sehingga terbentuk padatan dan dipanaskan kembali pada suhu 120 °C selama 5 jam. Padatan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit dipisahkan dari suspensi menggunakan magnet eksternal dan dicuci sampai pH filtratnya netral. Padatan dikeringkan pada suhu 65 °C selama 12 jam.

Magnetit dan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FT-IR PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00 dengan metode transmisi dan XRD Bruker 6000 dengan radiasi Cu K α ($\lambda=0,15406$) pada 2 θ 0 sampai 70°.

Isi gelas beker berukuran 50 mL sebanyak 6 buah, masing-masing dengan 20 mg serbuk Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit kemudian dimasukkan larutan fosfat 25 mg/L sebanyak 25 mL dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Sebagai pengontrol keasaman menggunakan HNO₃ 1M dan NaOH 1 M sebagai pengontrol kebasahan. pH diukur menggunakan pH meter. Setelah itu larutan diguncang menggunakan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm selama 45 menit. Selanjutnya Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit dipisahkan dari larutannya dengan menggunakan magnet eksternal. Setelah komposit terpisah, larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis Merck Pharo 300.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, magnetit menunjukkan pita serapan utama pada bilangan gelombang 580,51 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi peregangan ikatan Fe-O tetrahedral dan 442,41 cm⁻¹ merupakan vibrasi peregangan ikatan Fe-O oktahedral. Menurut Lu *et al* (2010) analisis inframerah untuk magnetit dicirikan dengan adanya pita serapan yang lebar di sekitar bilangan gelombang 590-570 cm⁻¹ sedangkan menurut Meng *et al* (2005) senyawa magnetit ditandai dengan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 565 dan 421 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi peregangan ikatan Fe²⁺-O²⁻ dan vibrasi peregangan ikatan Fe³⁺-O²⁻. Pita serapan lainnya terjadi pada bilangan gelombang 3430,79 dan 1633,98 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi peregangan dari gugus hidoksil yang terdapat pada permukaan magnetit (Petcharoen *et al.*, 2012).

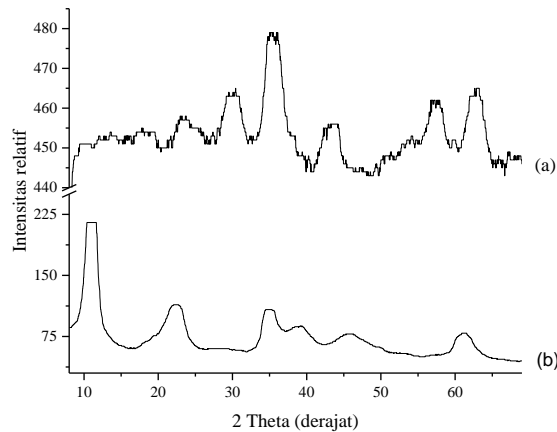


Gambar 1. Spektra FT-IR(a) Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit pasca adsorpsi (b) Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit sebelum adsorpsi (c) Fe₃O₄

Hasil karakterisasi FT-IR untuk Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit dapat dilihat pada Gambar 1 dimana terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 616,35 cm⁻¹ yang merupakan pergeseran vibrasi ulur dari ikatan Fe-O yang berasal dari Fe₃O₄. Pita serapan pada bilangan gelombang 400-900 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dan vibrasi tekuk dari M-O dan M-OH (Yan *et al.*, 2015). Pita serapan utama terjadi pada bilangan gelombang 1383,48 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi peregangan gugus NO₃. Menurut Sulistyaningsih *et al.* (2013), gugus NO₃ ditandai dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 1381,03 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat anion nitrat yang mengisi daerah antarlapis pada Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit hasil preparasi. Pita serapan lainnya terjadi pada bilangan gelombang

1634,15 cm^{-1} dengan puncak lebar yang lemah merupakan vibrasi tekuk molekul air pada daerah antarlapis (Kloprogge *et al.*, 2002). Serapan pada bilangan gelombang 3468,704 cm^{-1} merupakan tumpang tindih vibrasi ulur -OH di dalam lembaran-lembaran Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit dengan molekul-molekul air dalam antarlapis (Mg-OH dan Al-OH) (Hickey *et al.*, 2000).

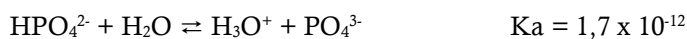
Gambar 2 menunjukkan bahwa puncak-puncak tertinggi senyawa Fe₃O₄ hasil preparasi muncul pada $2\theta = 30,2729^\circ$; $35,5508^\circ$; $43,2861^\circ$; $57,2626^\circ$; dan $62,8770^\circ$. Puncak-puncak ini sesuai dengan penelitian Sulistyaningsih *et al.* (2013) dengan $2\theta = 30,0^\circ$; $35,6^\circ$; $43,3^\circ$; $57,1^\circ$; dan $62,7^\circ$ yang menunjukkan bahwa fasa material hasil preparasi adalah Fe₃O₄, sedangkan puncak-puncak tertinggi senyawa Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit hasil preparasi muncul pada $2\theta = 11,1699^\circ$; $23,1724^\circ$; $34,4059^\circ$; $35,5068^\circ$; $60,6669^\circ$; dan $62,2302^\circ$. Puncak karakteristik dari Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit menunjukkan bahwa komposit tersebut memiliki struktur berlapis dengan *basal spacing* 7,92 Å yang menunjukkan adanya anion NO₃⁻ yang terdapat pada daerah antarlapis. Menurut Sulistyaningsih *et al.* (2013), anion NO₃⁻ pada daerah antarlapis material hidrotalsit dan hidrotalsit-magnetit adalah sebesar 7,91 Å dan 8,86 Å.



Gambar 2. Difraktogram XRD (a) Fe₃O₄ (b) Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit.

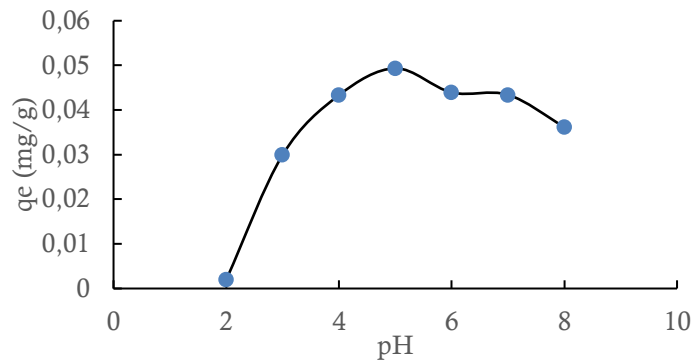
Komposit Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit kemudian digunakan sebagai adsorben ion fosfat dalam larutan untuk membuktikan sifat-sifat kimia dan sifat-sifat fisika yang dimiliki Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit yang dapat berperan sebagai suatu situs aktif (Heraldly, 2010). Adsorpsi fosfat oleh material Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat perbedaan signifikan antara penyerapan fosfat oleh Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit pada pH 2 dan 3 keatas.

Secara umum, konstanta disosiasi dari fosfat dapat dilihat dari persamaan berikut:



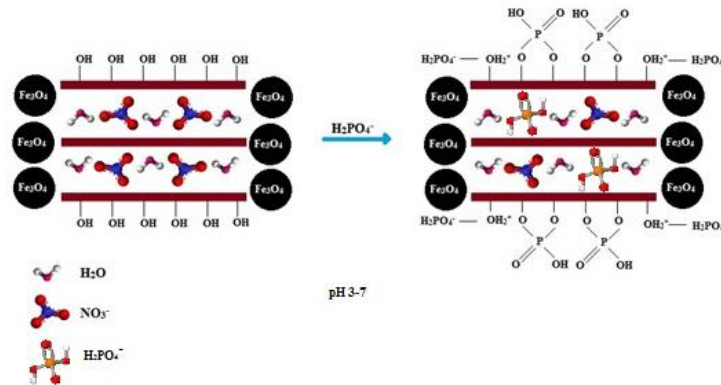
Pada pH 3-7, spesies H₂PO₄⁻ lebih dominan dibandingkan dengan spesies fosfat yang lain seperti HPO₄²⁻. Selain itu, energi bebas H₂PO₄⁻ lebih rendah dari HPO₄²⁻ sehingga spesies H₂PO₄⁻ lebih mudah diserap oleh Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit (Yan *et al.*, 2015). Data pengaruh pH terhadap adsorpsi ion H₂PO₄⁻ disajikan pada Gambar 3.

Menurut Heraldly (2008), kondisi media dengan pH dibawah 3 (keasaman medium tinggi), gugus hidroksi yang ada dalam senyawa Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit mengalami protonasi sehingga ikatan-ikatannya terhadap Mg atau Al putus yang menyebabkan terjadinya kelarutan logam-logam kation. Kondisi ini ditunjukkan dengan adanya penurunan massa Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit yang direndam dalam larutan dengan pH dibawah 3, maka jumlah adsorben akan berkurang sehingga kemampuan untuk mengadsorpsinya akan berkurang pula.



Gambar 3. Variasi pH terhadap adsorpsi H₂PO₄⁻

Kondisi pH optimum terjadi pada pH 5 dimana pH 5 merupakan kondisi asam. Pada kondisi asam, permukaan adsorben terprotonasi menjadi $-\text{OH}_2^+$ sehingga dapat lebih mudah berinteraksi dengan spesies H₂PO₄⁻. Gugus hidroksil pada permukaan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit (M-OH) ditukar dengan H₂PO₄⁻ membentuk kompleks *outer sphere* (M-O-P). Sedangkan pada pH 3 justru adsorpsinya lebih lemah karena kelebihan H⁺ dalam larutan dapat mengakibatkan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit menjadi tidak stabil (Herald, 2010). Pada penelitian ini, asumsi mekanisme adsorpsi ion H₂PO₄⁻ oleh Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Asumsi mekanisme adsorpsi ion H₂PO₄⁻ oleh Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit

Pada pH 8 kemampuan adsorpsi menurun karena dalam medium basa, permukaan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit mengalami deprotonasi atau kehilangan H⁺ sehingga permukaannya bermuatan negatif (Yan *et al.*, 2015). Hal ini menyebabkan gaya tolak-menolak antara permukaan Mg/Al-NO₃ hidrotalsit magnetit dengan spesies HPO₄²⁻ yang sama-sama bermuatan negatif sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi berkurang.

Simpulan

Komposit Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi. Hal ini dibuktikan dengan hasil karakterisasi FT-IR dan XRD yang diperoleh. Fosfat dalam larutan dapat diadsorpsi menggunakan komposit Mg/Al-NO₃ hidrotalsit-magnetit hasil sintesis. Hasil terbaik adsorpsi terjadi pada pH 5 dimana fosfat terserap sebesar 0,048 mg/g atau sekitar 98%.

Daftar Pustaka

- Auliah, A. 2009. Lempung Aktif sebagai Adsorben Ion Fosfat dalam Air. *Jurnal Chemical*, 10(2): 14-23
- Bejoy, N. 2001. *Hydrotalcite: The Clay that Cures*. <http://link.springer.com/sci-hub/cc/article/10.1007/BF02836942>, [diakses 17-11-2016]
- Cavani, F., F. Trifiro, & A. Vaccari. 1991. Hydrotalcite-Type Anionic Clays: Preparation, Properties and Applications. *Catalysis Today*, 11(2): 173-301
- Hendrawati, T., H. Prihadi, & N.N. Rohmah. 2008. *Analisis Kadar Fosfat dan N-Nitrogen (Amonia, Nitrat, Nitrit) pada Tambak Air Payau akibat Rembesan Lumpur Lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur*. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Jakarta: Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah

- Heraldy, E. 2010. Sintesis Senyawa *Hydrotalcite-Like* Berbahan Dasar Magnesium dari *Brine Water* dan Uji Kemampuannya sebagai Spesies Organik Anionik. *Disertasi*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Hickey, L., J.T. Klopogge, & R.L. Frost. 2000. The Effects of Various Hydrothermal Treatments on Magnesium-Aluminium Hydrotalcites. *Journal of Materials Science*, 35: 4347-4345
- Khusnuryani, A. 2008. *Mikrobia sebagai Agen Penurun Fosfat pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit*. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta
- Klopogge, J.T, D. Wharton, L. Hickey, & R.L. Frost. 2002. Infrared and Raman Study of Interlayer Anions CO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , and ClO_4^- in Mg/Al-Hydrotalcite. *American Mineralogist*, 87: 623-629
- Klopogge, J.T, L. Hickey, & R.L. Frost. 2004. The Effect of Synthesis pH and Hydrothermal Treatment on Formation of Zinc Aluminium Hydrotalcites. *Journal of Solid State Chemistry*, 177(11): 40-47
- Kurniyati, R., W. Sumarni, & Latifah. 2015. Pengaruh Chitosan Beads dan Chitosan Beads Sitrat sebagai Penurun Kadar Fosfat dan ABS (Alkyl Benzene Sulfonate). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(1): 36-41
- Lu, W., Y. Shen, A. Xie, & W. Zhang. 2010. Green Synthesis and Characterization of Superparamagnetic Fe_3O_4 nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(13): 1828-1833
- Meng, J, G. Yang, L. Yan, X. Wang. 2005. Synthesis and Characterization of Magnetic Nanometer Pigment Fe_3O_4 . *Dyes and Pigment*, 66(2): 109-113
- Petcharoen, K., & A. Sirivat. 2012. Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles Via the Chemical Co-Precipitation. *Material Science and Engineering*, 177(5): 421-427
- Sulistyaningsih, T, D.S.V. Silalahi, S.J. Santosa, D. Siswanta, & B. Rusdiarso. 2013. Synthesis and Characterization of Magnetic MgAl- NO_3 -HT Composite via the Chemical Co-precipitation Method. *International Conference on Biology, Environment and Chemistry*, 58(19): 95-99
- Syamimi, Z.N., K. Muda, J. Sochaili, & M. Silanpaa. 2014. Optimization of Activated Sludge Physical Properties by Magnetic Field via Response Surface Modeling. *Applied Mechanics and Materials*, 43: 206-240
- Sutardi. 2005. Sintesis Magnetit (Fe_3O_4) dan Kajian Kelayakannya untuk Mengadsorp Hg(II) dalam Larutan. *Skripsi*. Yogyakarta: Jurusan Kimia FMIPA UGM
- Tectona, J. 2011. *Pemanfaatan Kayu Angsana (Pterocarpus indicus)*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Yan, L, K. Yang, R. Shan, T. Yan, J. Wei, S. Yu, & B. Du. 2015. Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Investigation of Phosphate Adsorption Onto Core-Shell Fe_3O_4 @LDHs Composites with Easy Magnetic Separation Assistance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 448: 508-516
- Zhang X., J. Wang, R. Li, Q. Dai, R. Gao, Q. Liu, & M. Zhang. 2013. Preparation of Fe_3O_4 @C@Layered Double Hydroxide Composite for Magnetic Separation of Uranium. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52: 10152-10159
- Zheng, C., P. Chen, S. Bao, J. Xia, & X. Sun. 2014. Environmentally Compatible Synthesis of Superparamagnetic Magnetite (Fe_3O_4) Nanoparticles with Prehydrolysate from Corn Stover. *Bioresources*, 9(1): 589-601
- Lelifajri. 2010. Adsorpsi ion Logam Cu(II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk kayu Gergaji. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(3): 126-129
- Lopes, D. A. 1997. Sorption of Heavy Metals on Blast Furnace. *Water Resource*, 32, 989-99
- Tangio, J. S. 2013. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(1): 500-506