



Preparasi Mg/Al/Fe-NO₃ Hidrotalsit Secara Kopresipitasi

Tsania Safitri[✉], Triastuti Sulistyarningsih, dan Ella Kusumastuti

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

Info Artikel

Diterima Desember 2018

Disetujui Pebruari 2019

Dipublikasikan Mei 2019

Keywords:

Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit

FT-IR

XRD

Abstrak

Preparasi dan karakterisasi untuk memperoleh Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari metode preparasi Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit secara kopresipitasi dan karakterisasinya sebagai salah satu adsorben. Preparasi Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dilakukan dengan metode kopresipitasi dengan menambahkan larutan NaOH 1 M hingga pH 10 dengan temperatur larutan 35°C. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dianalisis gugus fungsinya dengan FT-IR dan fasa mineralnya dengan XRD. Berdasarkan hasil karakterisasi menunjukkan bahwa material yang terbentuk merupakan Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit yang memiliki anion nitrat pada daerah antarlapis dan memiliki struktur kristalin dengan ukuran kristal sebesar 11,7016 nm.

Abstract

Preparation and characterization to obtain Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalcite has been carried out. The purpose of this study was to study the preparation method of Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalcite in coprecipitation and its characterization as one of the adsorbents. Preparation of Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalcite was done by coprecipitation method by dripping 1 M NaOH solution to pH 10 with solution temperature at 35°C. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalcite is analyzed functional group with FT-IR and its mineralized phase with XRD. The result of characterization shows that the material formed is Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalcite having anion nitrate in the interlayer and has a crystalline structure with a crystal size of 11.7016 nm.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

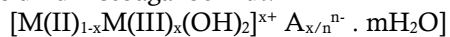
E-mail: tsaniasafitri@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Hidrotalsit (HT) atau hidroksida berlapis ganda atau LDHs termasuk dalam lempung anionik yang memiliki struktur mirip lapisan *brucite* ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Kation logam divalen berada di pusat oksigen oktahedral yang kemudian membentuk lapisan dua dimensi dengan cara penggunaan bersama sudut oktahedral. Penggantian sebagian kation logam divalen oleh logam trivalen mengakibatkan terbentuknya muatan positif pada lapisan hidrotalsit. Muatan positif ini diseimbangkan oleh keberadaan anion organik maupun anorganik pada daerah antar lapis. Daerah antarlapis yang masih kosong dan tidak terisi anion (Rahman, 2013). Hidrotalsit memiliki rumus umum sebagai berikut:



Berdasarkan rumus diatas, M(II) adalah kation divalen (Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , dan Co^{2+}), M(III) adalah kation trivalen (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ga^{3+} dan Cr^{3+}) dan A adalah anion dengan muatan n (HO^- , CO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) (Seftel *et al.*, 2006). Beberapa peneliti melakukan modifikasi material Mg/Al hidrotalsit dengan penambahan salah satu kation seperti Zr, Fe, atau La. Penggunaan La untuk adsorpsi jarang dilakukan karena logam yang mahal (Wang *et al.*, 2017) dan kation Zr susah untuk didapatkan. Oleh karena itu dilakukan penambahan kation Fe^{3+} pada Mg/Al hidrotalsit agar penyerapan ion lebih cepat karena kation Fe^{3+} mempunyai kemampuan meningkatkan daya tarik anion dalam lapisan interlayer (Yang *et al.*, 2012) dan memperkuat ikatan antar lapisan dengan meningkatkan permukaan hidrotalsit bermuatan positif (Triantafyllidis *et al.*, 2010) sehingga diharapkan penyerapan ion lebih cepat. Menurut Carriazo *et al.* (2007) adanya Al dan Fe dapat memperluas permukaan adsorben, pada adsorpsi Cr(VI) meningkat seiring dengan meningkatnya luas permukaan yaitu MgAlFe ($86 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) > MgAl ($72 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) > MgFe ($84 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) > ZnAl ($32 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$). Penggantian Al dengan sebagian Fe pada adsorpsi polutan air juga telah banyak diselidiki dan mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar.

Sintesis Mg/Al/Fe hidrotalsit yang telah dikembangkan antara lain dengan metode mekanokimia, kopresipitasi, oksida garam, hidrolisis induksi, sol gel dan elektrokimia (Benicio *et al.*, 2015). Metode oksida logam memiliki kelemahan seperti oksida kation divalen mengalami hidrolisis lambat dan anion yang disambung harus bisa membentuk garam larut dengan kation trivalen (Boehm *et al.*, 1977) dan metode mekanokimia dengan proses sintesis yang lebih lama (Zhang *et al.*, 2014). Metode yang biasa digunakan untuk sintesis material Mg/Al/Fe hidrotalsit yaitu metode kopresipitasi (Zhang *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2011). Kopresipitasi mempunyai kelebihan yaitu dapat dilakukan pada temperatur kamar, peralatan sederhana, relatif murah dan memberikan rendemen yang memadai. Yang *et al.* (2012) mensintesis Mg/Al/Fe hidrotalsit secara kopresipitasi dengan berbagai variasi rasio molar Mg/Al/Fe yaitu 3:1:0; 3:0,8:0,2; 3:0,6:0,4; dan 3:0,2:0,8. Berdasarkan hasil adsorpsi perklorat paling besar adalah rasio 3:0,8:0,2 dengan kapasitas sampai 97%, hal ini karena adanya penggantian Al^{3+} oleh Fe^{3+} dapat memperkuat ikatan antar lapisan dengan meningkatkan muatan positif, dan struktur kristal hidrotalsit dapat hancur jika dimasuki Fe^{3+} terlalu banyak. Kandungan molar Mg^{2+} yang lebih banyak juga dapat mempengaruhi kristalinitas hidrotalsit, semakin tinggi kandungan Mg^{2+} maka semakin tinggi pula kristalinitas sehingga semakin baik struktur hidrotalsit (Kang *et al.*, 2013). Sintesis hidrotalsit setelah kopresipitasi biasanya diikuti dengan proses hidrotermal. Proses hidrotermal bertujuan untuk mendapatkan hasil sintesis dengan kristalinitas tertentu agar dapat digunakan dalam adsorpsi. Proses hidrotermal memiliki kelebihan yaitu dapat meningkatkan kristalinitas dan ukuran kristalit yang signifikan (Sharma *et al.*, 2007).

Metode

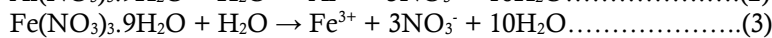
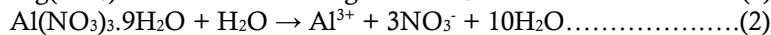
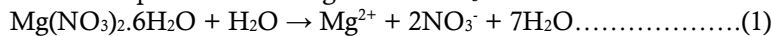
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas (pyrex), *hotplate* dan *magnetic stirrer* (IKA C-MAG), oven (*memmert*), neraca analitik (*Mettler Toledo*), mortar dan alu, pH universal, termometer, *vacuum buchner*, ayakan ukuran 170 *mesh*, alat difraksi sinar-X (XRD) (PANalytical seri Xpert'3 Powder) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) (Perkin Elmer Frontier). Bahan yang digunakan adalah $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, NaOH dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*, kertas whattman-42 dan aquademin.

Sintesis Mg/Al/Fe- NO_3 hidrotalsit. Langkah pertama adalah larutan Mg/Al/Fe dibuat dari padatan $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dengan rasio molar Mg/Al/Fe 3:0,8:0,2 (Yang *et al.*, 2012). Padatan $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 7,7700 g, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 3,0467 g dan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,8162 g masing-masing dilarutkan ke dalam labu ukur 10 mL dan ditambah aquademin sampai tanda batas. Kemudian setelah masing-masing larut ketiga larutan dicampurkan ke dalam gelas beker 250 mL. Larutan campuran (Mg/Al/Fe) kemudian ditambahkan tetes demi tetes larutan 1 M NaOH sebagai reagen pengendap menggunakan buret 50 mL dengan kondisi suhu 35°C (menggunakan *magnetic stirrer* dan *hot plate* di bawah gelas kimia) sampai pH 10. Selanjutnya diaduk sambil dipanaskan pada suhu 65°C selama 12 jam menggunakan *magnetic stirrer* dan *hot plate*. Larutan campuran tersebut diproses secara hidrotermal dengan dimasukkan ke dalam teflon dan dipanaskan pada suhu 120°C selama 5 jam menggunakan oven.

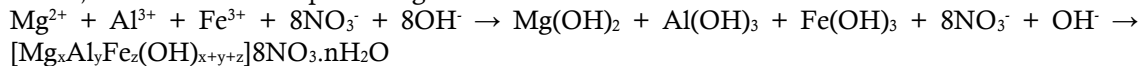
Endapan yang didapat disaring dengan *vacuum buchner* dan dicuci berulang kali dengan aquades untuk mencapai pH netral, lalu dikeringkan ke dalam oven pada suhu 80°C selama 2 jam (sampai berat konstan). Akhirnya, dihasilkan padatan berupa Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit. Kemudian ditumbuk dalam mortar dan diayak dengan pengayak 170 *mesh*. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD PANalytical seri Xpert'3 Powder Cu K ($\lambda=0,15406$) pada 2 θ 5 sampai 80° dan FT-IR *Perkin Elmer Frontier* dengan metode transmisi.

Hasil dan Pembahasan

Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit berhasil disintesis dalam penelitian ini, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit yang digunakan dalam penelitian ini disintesis menggunakan metode kopresipitasi karena dapat dilakukan pada temperatur kamar, peralatan sederhana, relatif murah dan memberikan rendemen yang memadai, metode ini sama seperti metode yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2012), Zhang *et al.* (2013) dan Xiao *et al.* (2011). Sintesis dilakukan secara tertutup yang bertujuan untuk menghindari masuknya ion karbonat dalam daerah antar lapis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit yang berasal dari gas CO₂. Ion karbonat merupakan salah satu anion pengisi daerah antar lapis hidrotalsit yang memiliki afinitas besar sebagai anion penyeimbang sehingga sulit digantikan oleh anion lain, oleh karena itu keberadaannya sangat dihindari (Extremera *et al.*, 2012). Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis memiliki warna coklat muda. Pada proses sintesis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit, terjadi perubahan warna dari oranye menjadi coklat muda yang menunjukkan terbentuknya (Mg(OH)₂), (Al(OH)₃) dan (Fe(OH)₃), seperti persamaan reaksi pembentukan Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit:



Persamaan 1, 2 dan 3 lalu diendapkan dengan NaOH

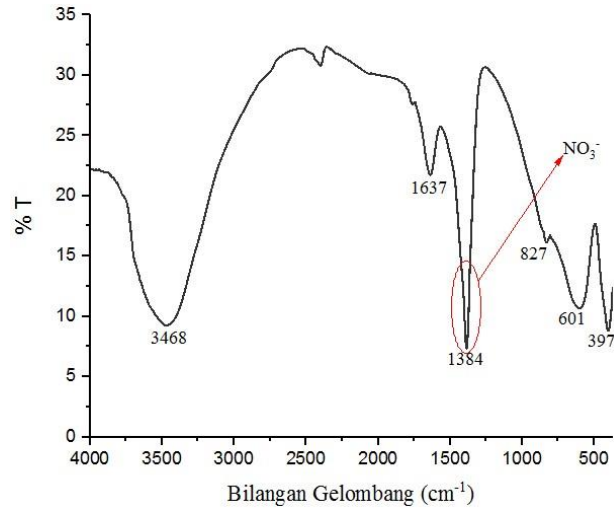


Gambar 1. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis

Sintesis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dilakukan pada kondisi basa (pH 10), sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Ma *et al.* (2011). Pada kondisi basa Mg(OH)₂, Al(OH)₃, dan Fe(OH)₃ sebagai senyawa penyusun hidrotalsit berada dalam fase endapan yang merupakan langkah awal pembentukan hidrotalsit dengan menggunakan basa kuat NaOH. Pada pH lebih rendah, logam-logam tersebut akan larut. Sintesis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dilanjutkan dengan hidrotermal untuk meningkatkan kristalinitas material Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis. Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit kemudian dicuci menggunakan aquademin untuk menghilangkan pengotor yang terbentuk selama proses sintesis berlangsung seperti Na⁺ dan dikeringkan menggunakan oven untuk menghilangkan kelebihan air.

Karakterisasi Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis menggunakan spektroskopi FT-IR untuk analisis gugus fungsi yang terkandung dan difraksi sinar-X untuk analisis fasa dan ukuran kristal partikel. Penentuan secara kualitatif gugus fungsional Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit menggunakan spektroskopi FT-IR ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan spektra FT-IR pada Gambar 2, Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis memberikan serapan pada 3468 cm⁻¹ milik vibrasi ulur -OH dari gugus logam-hidroksil (Mg-OH, Al-OH dan Fe-OH) pada permukaan Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dan gugus -OH dari molekul air (H₂O) pada daerah antar lapis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit, serapan 1637 cm⁻¹ milik vibrasi tekuk ikatan hidrogen molekul air (H₂O) daerah antar lapis Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit, serapan 827 dan 1384 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur ikatan -NO pada ion NO₃⁻ di daerah antar lapis seperti ion nitrat dari beberapa penelitian yang telah dilaporkan oleh Zhang *et al.* (2014) dan Chen *et al.* (2012). Serapan 601 cm⁻¹ merupakan vibrasi tekuk Al-OH, Mg-OH dan Fe-OH. Berbagai serapan dalam spektra FT-IR Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dari referensi lain disajikan pada Tabel 1.



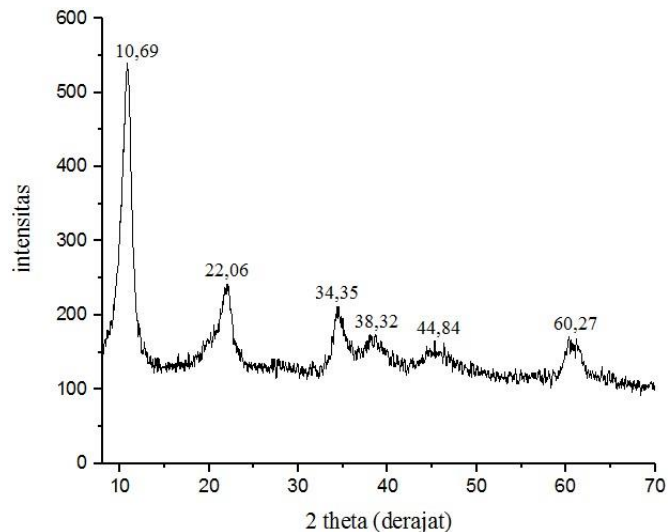
Gambar 2. Spektra FTIR Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit

Tabel 1. Berbagai serapan Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit dalam spektra FT-IR

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi	Referensi
1	3468	Vibrasi ulur -OH	Zhang <i>et al.</i> , 2014
2	1637	Vibrasi tekuk H ₂ O	Zhang <i>et al.</i> , 2014; Xiao <i>et al.</i> , 2011; Yang <i>et al.</i> , 2012
3	1384 dan 827	Vibrasi ulur NO ₃ ⁻	Zhang <i>et al.</i> , 2014; Chen <i>et al.</i> , 2012
4	601	Vibrasi ulur dan tekuk M-OH dan M-O (M= Mg/Al/Fe)	Zhang <i>et al.</i> , 2014; Xiao <i>et al.</i> , 2011

Selain penentuan kualitatif gugus fungsional menggunakan spektroskopi FT-IR, dilakukan pula karakterisasi kristalinitas material sintesis menggunakan difraksi sinar-X. Gambar 3 menyajikan difraktogram XRD material Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis.

Berdasarkan Gambar 3, difraktogram Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis muncul pada 2θ : 10,69; 22,06; 34,35; 38,32; 44,84; dan 60,27 yang menunjukkan kristal Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit. Berdasarkan puncak tertinggi pada difraktogram dapat dihitung ukuran kristal Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer dan diperoleh bahwa Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis memiliki ukuran kristal yaitu 11,7016 nm. Partikel nano berbagai bentuk berukuran antara 1×10^{-9} dan 1×10^{-7} m (Vert *et al.*, 2012). Puncak tajam pada difraktogram dapat menunjukkan bahwa adsorben yang dihasilkan memiliki struktur kristalin.



Gambar 3. Difraktogram XRD Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit

Tabel 2. Berbagai puncak 2 θ Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit

No	2 θ	Interpretasi	Referensi
1	10,69	Hidrotalsit	Ma <i>et al.</i> , 2011; Triantafyllidis <i>et al.</i> , 2010
2	22,06	Hidrotalsit	Carriazo <i>et al.</i> , 2007
3	34,35	Hidrotalsit	Ma <i>et al.</i> , 2011; Triantafyllidis <i>et al.</i> , 2010
4	38,32	Hidrotalsit	Zhang <i>et al.</i> , 2013
5	44,84	Hidrotalsit	Zhang <i>et al.</i> , 2013
6	60,27	Hidrotalsit	Ma <i>et al.</i> , 2011; Zhang <i>et al.</i> , 2013

Berdasarkan data difraktogram (Gambar 3) pada 2 θ 10,69 diketahui harga d-spacing Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit hasil sintesis sebesar 8,27 Å. Hasil ini sama seperti material yang disintesis oleh Suzuki *et al.* (1989) yang memiliki harga d-spacing 8,2 dengan anion NO₃⁻ pada daerah antar lapisnya. *d-spacing* yang didapat rendah karena adanya perbedaan posisi ion NO₃⁻ pada antar lapis, posisi ion NO₃⁻ disini dapat diasumsikan dengan posisi ion NO₃⁻ horizontal.

Simpulan

Senyawa Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi. Hal ini dibuktikan dengan hasil karakterisasi FT-IR dan XRD yang diperoleh. Berdasarkan hasil karakterisasi menunjukkan bahwa material yang terbentuk merupakan Mg/Al/Fe-NO₃ hidrotalsit yang memiliki anion nitrat pada daerah antarlapis dan memiliki struktur kristalin dengan ukuran kristal sebesar 11,7016 nm.

Daftar Pustaka

- Benicio, L.P.F, R.A. Silva, J.A. Lopes, D. Eulalio, R.M.M.D. Santos, L.A.D. Aquino, L. Vergutz, R.F. Novais, L.M.D. Costa, F.G. Pinto, & J. Tronto. 2015. Layered Double Hydroxides: Nanomaterial for Applications in Agriculture. *Brazilian Journal of Soil Science*, 39(1): 1-20
- Boehm, H.P, J. Steinle, & C. Vieweger. 1977. [Zn₂Cr(OH)₆]_x.2H₂O, New Layer Compounds Capable of Anion Exchange and Intracrystalline Swelling. *Angewandte Chemie International Edition*, 16(4): 265-266
- Carriazo, D., M.D. Arco, C. Martin, & V. Rives. 2007. A Comparative Study Between Chloride and Calcined Carbonate Hydrotalcites as Adsorbents for Cr(VI). *Applied Clay Science*, 37: 231-239
- Chen, D., Y. Li, J. Zhang, J. Zhou, Y. Guo & H. Liu. 2012. Magnetic Fe₃O₄/ZnCr-Layered Double Hydroxide Composite with Enhanced Adsorption and Photocatalytic Activity. *Chemical Engineering Journal*, 185-186: 120-126
- Extremera, R., I. Pavlovic, M. Perez, & C. Barriga. 2012. Removal of Acid Orange 10 by Calcined and Uncalcined Mg/Al Layered Double Hydroxides from Water and Recovery of the Adsorbed Dye. *Chemistry Engineering Journal*, 213: 392-400
- Kang, D., X. Yu, S. Tong, M. Ge, J. Zuo, C. Cao, & W. Song. 2013. Performance and Mechanism of Mg/Fe Layered Double Hydroxides for Fluoride and Arsenate Removal from Aqueous Solution. *Chemical Engineering Journal*, 228: 731-740
- Ma, W., N. Zhao, G. Yang, L. Tian, & R. Wang. 2011. Removal of Fluoride Ions from Aqueous Solution by The Calcination Product of Mg-Al-Fe Hydrotalcite-Like Compound. *Desalination*, 268: 20-26
- Rahman, A. 2013. Structure Characterization and Application of Ni Hydrotalcite as Environmentally Friendly Catalyst for Reductive Amination of Benzaldehyde. *Journal of Engineering Science and Emerging Technologies*, 56(1): 598-600
- Seftel, E.M., E. Dvinov, D. Lutic, E. Popovici & C. Ciocoiu, 2006. Synthesis of Hydrotalcite Type Anionic Clays Containing Biomolecules. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 7(6): 2869-2874
- Sharma, S.K., P.K. Kushwaha, V.K. Srivastava, S.D. Bhatt, & R.V. Jasra. 2007. Effect of Hydrothermal Conditions on Structural and Textural Properties of Synthetic Hydrotalcites of Varying Mg/Al Ratio. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(14): 4856-4865
- Suzuki, E., S. Idemura, & Y. Ono. 1989. Properties of Hexacyanocobaltate(III)-Exchanged Hydrotalcite-Like Minerals. *Clays and Clay Minerals*, 37(2): 173-178
- Triantafyllidis, K.S., E.N. Peleka, V.G. Komvokis, & P.P. Mavros. 2010. Iron-Modified Hydrotalcite-Like Materials as Highly Efficient Phosphate Sorbents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342: 427-436

- Vert, M., Y. Doi, K. H. Hellwich, M. Hess, P. Hodge, P. Kubisa, M. Rinaudo, F. Schue. Terminology for Biorelated Polymers and Applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure and Applied Chemistry*, 84(2): 377-410
- Wang, M., X. Yu, C. Yang, X. Yang, M. Lin, L. Guan, & M. Ge. 2017. Removal of Fluoride from Aqueous Solution by Mg-Al-Zr Triple-Metal Composite. *Chemical Engineering Journal*, 155(17): 1-23
- Xiao, L., W. Ma, M. Han, & Z. Cheng. 2011. The Influence of Ferric Iron in Calcined Nano-Mg/Al Hydrotalcite on Adsorption of Cr(VI) from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*, 186: 690-698
- Yang, Y., N. Gao, W. Chu, Y. Zhang, & Y. Ma. 2012. Adsorption of Perchlorate from Aqueous Solution by The Calcination Product of Mg/(Al-Fe) Hydrotalcite-Like Compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 209: 318-325
- Zhang, F., N. Du, H. Li, X. Liang, & W. Hou. 2014. Sorption of Cr(VI) on Mg-Al-Fe Layered Double Hydroxides Synthesized by a Mechanochemical Method. *Royal Society of Chemistry*, (4): 46823-46830
- Zhang, W., Y. Liu, & L. Xi. 2013. Adsorption of Chloride Anion by Calcined Mg-Al-Fe Layered Double Hydroxides in Wastewater. *Applied Mechanics and Materials*, 423: 545-549