



Interkalasi Montmorilonit dengan Kitosan Serta Aplikasinya sebagai Adsorben *Methylene Blue*

Dhonirul Machiril , Jumaeri, 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: Mei 20117

Disetujui: Juli 2017

Dipublikasikan: Agustus
2017

Keywords:

adsorption
chitosan
intercalation
methylene blue
montmorillonite


Abstrak

Montmorilonit terinterkalasi kitosan (MMT-Kts) disiapkan dengan menambahkan larutan kitosan ke dalam suspensi Na-montmorilonit (Na-MMT) selama 24 jam. Na-MMT dan MMT-Kts diuji menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) dan *Surface Area Analyzer* (SAA). Interkalasi kitosan ke dalam antar lapis Na-MMT menyebabkan peningkatan *basal spacing* dari 8,92725 Å menjadi 9,64672 Å dan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 2931,73 dan 1561,1 cm⁻¹. Interkalasi juga menyebabkan naiknya luas permukaan dan volume total pori. Efektivitas adsorpsi *methylene blue* (MB) menggunakan MMT-Kts telah diteliti pada kondisi pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan MB yang berbeda dan dibandingkan dengan adsorpsi MB menggunakan Na-MMT. Hasil penelitian menunjukkan Na-MMT efektif digunakan untuk adsorpsi MB pada pH 4, waktu kontak 60 menit, dan konsentrasi awal larutan MB 1000 mg/L dengan efisiensi 62,43%. Sedangkan MMT-Kts efektif digunakan untuk adsorpsi MB pada pH 2, waktu kontak 90 menit, dan konsentrasi awal larutan MB 1000 mg/L dengan efisiensi 10,17%.

Abstract

Chitosan intercalated montmorillonite (MMT-Kts) was prepared by adding chitosan solution into a suspension of Na-montmorillonite (Na-MMT) for 24 hours. Na-MMT and MMT-Kts was characterized by X-Ray Diffractometer (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and Surface Area Analyzer (SAA). Chitosan intercalation into interlayer of Na-MMT make an increase in basal spacing of 8.92725 Å being 9.64672 Å and appearance of new absorption at wave number 2931.73 and 1561.1 cm⁻¹. Intercalation increase the surface area and a total pore volume. The adsorption effectiveness of methylene blue (MB) using MMT-Kts has been investigated on different pH solution, contact time, and initial concentration of MB solution and compared with the adsorption of MB using Na-MMT. The results showed Na-MMT effectively used for adsorption of MB at pH 4, contact time of 60 minutes, and initial concentration of MB solution at 1000 mg/L with an efficiency 62.43%. While MMT-Kts effectively used for adsorption of MB at pH 2, contact time of 90 minutes, and the initial concentration of MB solution 1,000 mg/L with an efficiency 10.17%.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

 Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: donirul5@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi secara langsung mendorong pertumbuhan industri di Indonesia. Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) merupakan salah satu industri andalan sebagai penggerak pembangunan ekonomi nasional. Hal ini dikarenakan kontribusi industri TPT sangat signifikan dalam peningkatan nilai tambah, penyerapan tenaga kerja, dan perolehan devisa ekspor, serta mampu memberikan kontribusi yang besar dalam pembentukan daya saing nasional (Pusat Komunikasi Publik Kemenperin, 2015). Pesatnya perkembangan industri TPT tidak hanya memberikan manfaat namun juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, salah satunya adalah pencemaran perairan oleh limbah zat warna (Dhamayanti, *et al.*; 2005).

Methylene blue (MB) merupakan salah satu zat warna *thiazine* yang sering digunakan dalam industri tekstil, karena harganya yang ekonomis dan mudah diperoleh. Dalam pewarnaan, senyawa MB hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya yaitu 95% dibuang sebagai limbah (Riyanto & Julianto; 2009). Penggunaan MB dapat menimbulkan beberapa efek, seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui & Chiha; 2006).

Menurut Ismadji, *et al.* (2015) adsorpsi merupakan teknologi yang ekonomis dan sangat efektif di berbagai konsentrasi larutan. Montmorilonit dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna karena memiliki luas permukaan dan kapasitas tukar kation yang tinggi. Namun, montmorilonit alam umumnya bersifat hidrofilik sehingga memiliki kapasitas adsorpsi yang rendah terhadap senyawa organik. Modifikasi montmorilonit dapat dilakukan dengan cara menyisipkan kitosan ke dalam antar lapis (*interlayer*) dengan metode interkalasi. Interkalasi kitosan pada *interlayer* montmorilonit diharapkan dapat mengubah sifat hidrofilik montmorilonit menjadi organofilik. Adanya kitosan dalam *interlayer* montmorilonit akan menambah daya adsorpsi montmorilonit terhadap senyawa organik. Hal ini karena selain meningkatkan luas permukaan montmorilonit, keberadaan pasangan elektron bebas pada gugus OH dan NH₃ pada kitosan dapat bertindak sebagai ligan dan dapat berinteraksi dengan zat warna kationik atau kation logam melalui mekanisme pembentukan ikatan kovalen koordinasi (Sugita, *et al.*; 2009).

Penelitian ini mempelajari pengaruh interkalasi kitosan ke dalam *interlayer* Na-montmorilonit (Na-MMT) terhadap karakteristik Na-MMT. Pengujian efektifitas adsorpsi pada variasi pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan MB juga dipelajari. Interkalasi kitosan ke dalam *interlayer* Na-MMT diharapkan dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi Na-MMT sebagai adsorben zat warna MB.

Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi neraca analitik (*Denver instrument*), *hot plate & magnetic stirrer* (*Vision*), *orbital shaker* (*Yellow line OS 10 basic*), sonikator (*Ultrasonic cleaner CD-2800*), ayakan ukuran 230 mesh (*Retsch astm E11*), oven (*Memmert*), XRD (*Shimadzu XRD-6000*), FT-IR (*Spectrum 100 Pelkin Elmer*), SAA (*Quantachrome NOVA-1200e*), dan Spektrofotometer UV-Vis (*UV-Vis mini 1240 Shimadzu*). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bentonit yang diperoleh dari toko kimia Indrasari, kitosan yang diperoleh dari CV. Ocean Fresh Bandung, CH₃COOH (Chang Chun Petro. Co. Ltd.), serta bahan kimia dengan *grade pro analyst* buatan *Merck: methylene blue*, NaCl, AgNO₃, HCl, dan NaOH.

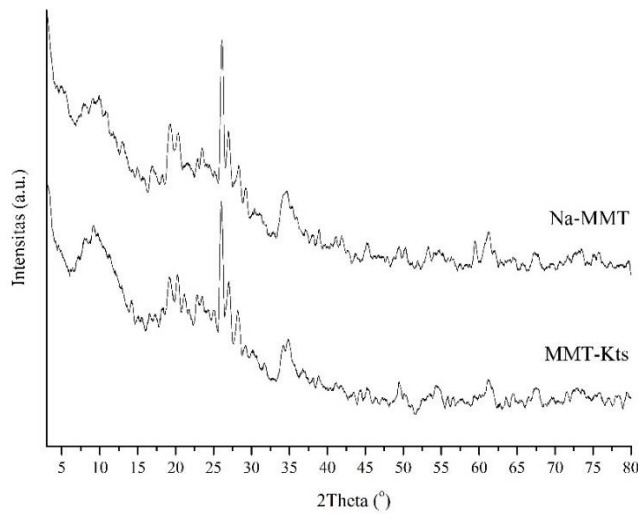
Sebanyak 4 g kitosan dilarutkan dalam 196 mL asam asetat 2% (v/v). Larutan kitosan kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 30 menit. Sebanyak 2,5 g Na-MMT didispersikan ke dalam 100 mL aquademin kemudian disonikasi selama 1 jam. Larutan kitosan yang telah disiapkan ditambahkan secara perlahan, kemudian diaduk selama 24 jam menggunakan *orbital shaker*. Larutan montmorilonit-kitosan (MMT-Kts) disaring untuk memisahkan MMT-Kts dari suspensi, kemudian dicuci dengan aquademin hingga pH air pencuci netral. MMT-Kts dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam (Monvisade & Siriphannon; 2009).

Adsorpsi dilakukan dengan membandingkan penambahan 0,1 g adsorben Na-MMT dengan 0,1 g adsorben MMT-Kts ke dalam 25 mL larutan *methylene blue* (MB) tanpa buffer. Semua proses adsorpsi diaduk menggunakan *orbital shaker* dengan kecepatan 200 rpm. Setelah pengadukan selesai, larutan di saring dan filtrat yang diperoleh diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum MB (663,5 nm). Sebelum penambahan adsorben, larutan diukur absorbansinya sebagai absorbansi awal. Percobaan dilakukan untuk mengetahui dampak dari berbagai variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan MB terhadap efektivitas adsorpsi.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian adsorben dengan XRD dilakukan untuk menentukan besarnya pergeseran jarak antar lapis (*basal spacing*) silikat montmorilonit. Besarnya peningkatan jarak antar lapis silikat Na-MMT akibat

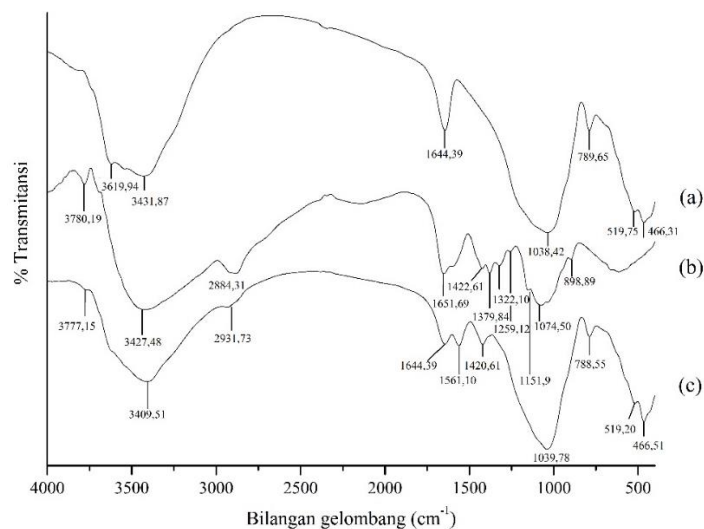
terjadinya interkalasi kitosan dalam antar lapis Na-MMT. Perubahan nilai *basal spacing* ini mengindikasikan bahwa telah terjadi proses interkalasi dan membentuk lapisan kitosan di dalam antar lapis Na-MMT. Pola difraktogram XRD Na-MMT dan MMT-Kts dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Difraktogram XRD Na-MMT dan MMT-Kts

Dari difraktogram Na-MMT di atas, menunjukkan puncak-puncak khas mineral montmorilonit yaitu pada $2\theta = 9,9$ dan $19,28^\circ$ dengan nilai *basal spacing* 8,92725 dan 4,59999 Å. Setelah diinterkalasi dengan kitosan, puncak-puncak 2θ tersebut mengalami pergeseran menjadi 9,16 dan $19,225^\circ$ dengan nilai *basal spacing* 9,64672 dan 4,61302 Å. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *basal spacing* tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan, MMT-Kts memiliki *basal spacing* yang sedikit lebih besar dari Na-MMT. Hal ini karena belum optimalnya konsentrasi kitosan yang ditambahkan selama proses interkalasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Darder, *et al.* (2003) dilaporkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan yang ditambahkan maka jarak *basal spacing* MMT-Kts akan semakin besar. Meskipun demikian, dengan pergeseran sudut 2θ ke arah yang lebih kecil dan terjadi peningkatan jarak *basal spacing* mengindikasikan bahwa kitosan telah berhasil masuk ke dalam *interlayer* Na-MMT.

Hasil uji Na-MMT, kitosan, dan MMT-Kts menggunakan spektrofotometer inframerah disajikan pada Gambar 2. Uji ini dilakukan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi yang berasal dari kitosan yang terdapat pada struktur montmorilonit. Daerah serapan Na-MMT terdiri dari dua bagian yaitu pada daerah $4000-3000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur ikatan O-H oktahedral dan daerah *finger print* yang diakibatkan vibrasi Al-O dan atau Si-O.



Gambar 2. Spektra FT-IR (a) Na-MMT, (b) kitosan, dan (c) MMT-Kts

Spektrum khas kitosan terdapat pada bilangan gelombang 3780,19 dan 3427,48 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur dari grup O-H yang mana overlap dengan vibrasi ulur N-H simetris. Kemudian bilangan gelombang 2884,31 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-H simetris pada $-\text{CH}_3$. Absorpsi pada bilangan gelombang 1651,69 dan 1593,31 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi ikatan karbonil ($-\text{C}=\text{O}$) dari grup amida CONHR (amida sekunder) dan vibrasi dari gugus amina terprotonasi. Vibrasi tekuk dari grup metil dan metilen (C-H) juga terlihat pada bilangan gelombang 1422,61 dan 1379,84 cm^{-1} (Wang & wang; 2007; Silva, *et al.*; 2012; Hartanti, *et al.*; 2012). Spektrum MMT-Kts menunjukkan kombinasi serapan khas dari Na-MMT dan kitosan dimana bilangan gelombang 1593,31 cm^{-1} dari gugus amina $-\text{NH}_2$ dalam kitosan mulai bergeser ke 1561,1 cm^{-1} dalam MMT-Kts, sesuai dengan getaran deformasi dari gugus amina terprotonasi ($-\text{NH}_3^+$) dari kitosan. Gugus $-\text{NH}_3^+$ tersebut berinteraksi dengan situs bermuatan negatif dari Na-MMT (Monvisade & Siriphanon; 2009).

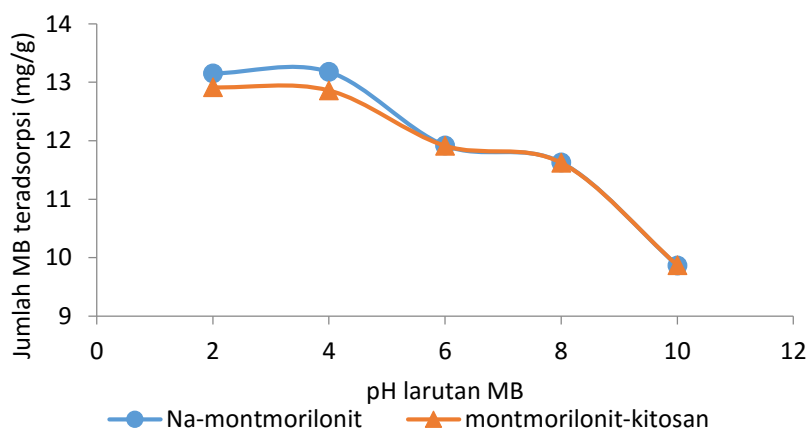
Luas permukaan merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi karena semakin besar luas permukaan pori suatu adsorben maka daya adsorpsinya juga semakin besar. Uji Na-MMT dan MMT-KTS menggunakan SAA tidak hanya untuk mengetahui luas permukaan spesifik tetapi juga volume total pori dan rata-rata ukuran pori. Hasil uji pada kedua adsorben tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil karakterisasi SAA

Parameter	Na-MMT	MMT-Kts
Luas permukaan spesifik (m^2/g)	30,45400	74,0060
Volume total pori (cm^3/g)	0,06804	0,1568
Rata-rata ukuran pori (\AA)	44,68210	42,3843

Berdasarkan data pada Tabel 1 luas permukaan spesifik dari Na-MMT adalah 30,454 m^2/g , setelah diinterkalasi dengan kitosan terjadi kenaikan luas permukaan spesifik menjadi 74,006 m^2/g . Data ini menunjukkan bahwa interkalasi kitosan ke dalam Na-MMT dapat meningkatkan luas permukaan yang cukup signifikan. Kenaikan luas permukaan pada MMT-Kts diharapkan dapat meningkatkan proses adsorpsi. Selain meningkatkan luas permukaan, interkalasi juga meningkatkan volume total pori dari 0,06804 cm^3/g menjadi 0,1568 cm^3/g . Akan tetapi rata-rata ukuran pori menurun sebesar 2,2978 \AA . Meskipun terjadi penurunan rata-rata ukuran pori, berdasarkan klasifikasi fisisorpsi isoterm IUPAC hasil distribusi pori kedua adsorben menunjukkan fisisorpsi isoterm tipe IVa yang menandakan bahwa adsorben berukuran mesopori dengan diameter pori Na-MMT 44,6821 \AA dan MMT-Kts 42,3843 \AA . Perilaku adsorpsi mesopori ditentukan oleh interaksi adsorben dengan adsorbat dan juga oleh interaksi antara molekul dalam keadaan kondensasi (Thommes, *et al.*; 2015).

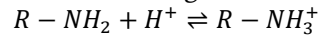
Salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah pH karena pH dapat mempengaruhi situs aktif dari permukaan adsorben yang berperan aktif dalam penyerapan MB. Pengaruh pH terhadap efektivitas adsorpsi MB menggunakan adsorben Na-MMT dan MMT-Kts dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara pH dengan jumlah MB teradsorpsi ($C_0 = 50 \text{ mg/L}$, waktu kontak = 2 jam)

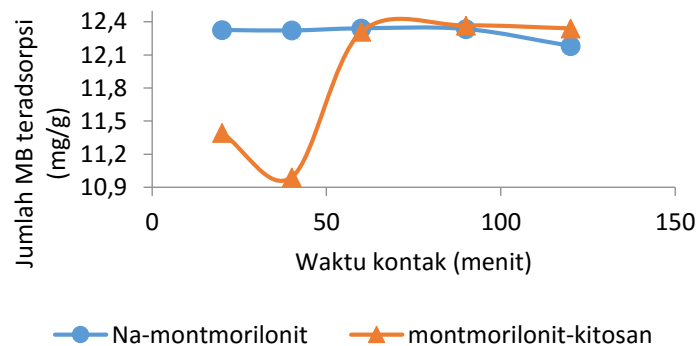
Hasil penyerapan MB oleh adsorben Na-MMT dan MMT-Kts cenderung menurun seiring dengan meningkatnya pH. Hasil penyerapan MB oleh adsorben Na-MMT optimum terjadi pada pH 4 dengan jumlah MB teradsorpsi 13,176 mg/g . MMT-Kts optimum menyerap MB pada pH 2 dengan jumlah MB

teradsorpsi sebesar 12,915 mg/g. Penyerapan MB terjadi secara maksimal karena MB dapat masuk ke dalam struktur pori adsorben Na-MMT dan MMT-Kts. Penurunan penyerapan MB terjadi karena bentuk *zwitter ion* dari MB dalam air kemungkinan meningkatkan agregasi dari MB untuk membentuk sebuah bentuk molekuler yang lebih besar (dimer) dan menjadi tidak dapat masuk ke dalam struktur pori dari permukaan adsorben. Terbentuknya agregasi yang lebih besar dari *zwitter ion* terjadi karena adanya interaksi tarik-menarik elektrostatis antara kelompok ionik dari monomer (Arivoli *et al.*, 2010). Perbedaan penyerapan MB antara adsorben Na-MMT dan MMT-Kts dimana adsorben Na-MMT dapat menyerap MB lebih besar dibandingkan dengan adsorben MMT-Kts. Perbedaan ini dikarenakan terjadi protonasi gugus amino dari kitosan pada kondisi asam sesuai dengan reaksi berikut:



Kondisi asam tersebut akan membuat adsorben bermuatan positif sehingga terjadi tolakan antara adsorben MMT-Kts dengan MB (Shouman, *et al.*; 2012).

Penentuan waktu kontak bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada larutan MB oleh adsorben Na-MMT dan MMT-Kts. Pengaruh waktu kontak terhadap jumlah larutan MB teradsorpsi oleh kedua adsorben dapat dilihat pada Gambar 4.



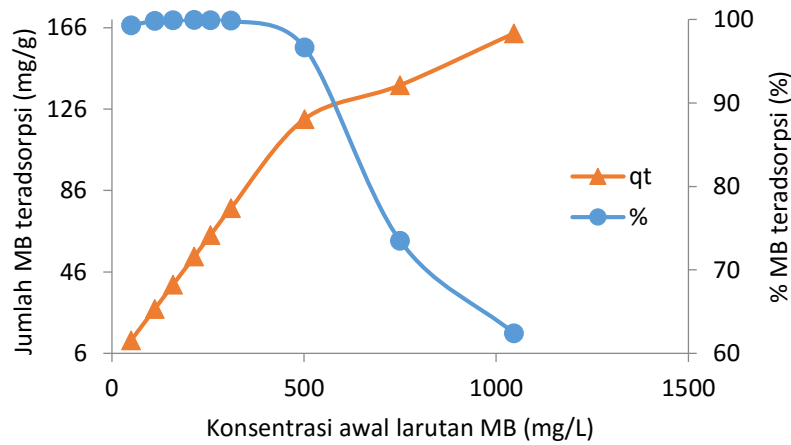
Gambar 4. Hubungan antara waktu kontak dengan jumlah MB teradsorpsi (pH = 6, $C_0 = 50$ mg/L)

Berdasarkan Gambar 4 maka dapat diketahui jumlah optimum MB yang teradsorpsi dari lima variasi waktu kontak. Penggunaan adsorben Na-MMT pada waktu kontak 60 menit terjadi penyerapan MB sebesar 12,341 mg/g yang merupakan titik terjadinya kesetimbangan antara adsorben dengan adsorbat. Penggunaan adsorben MMT-Kts optimum pada waktu kontak 60 menit dengan jumlah MB teradsorpsi sebesar 12,341 mg/g tetapi pada waktu 40 menit terjadi penurunan penyerapan yang cukup signifikan, hal ini dikarenakan pada waktu 40 menit laju difusi MB ke dalam pori adsorben mengalami penurunan tajam. Secara umum, laju adsorpsi dikendalikan oleh difusi eksternal atau difusi intrapartikel, atau keduanya. Untuk mengetahui laju difusi digunakan persamaan Weber-Morris (Zhou, *et al.*; 2015).

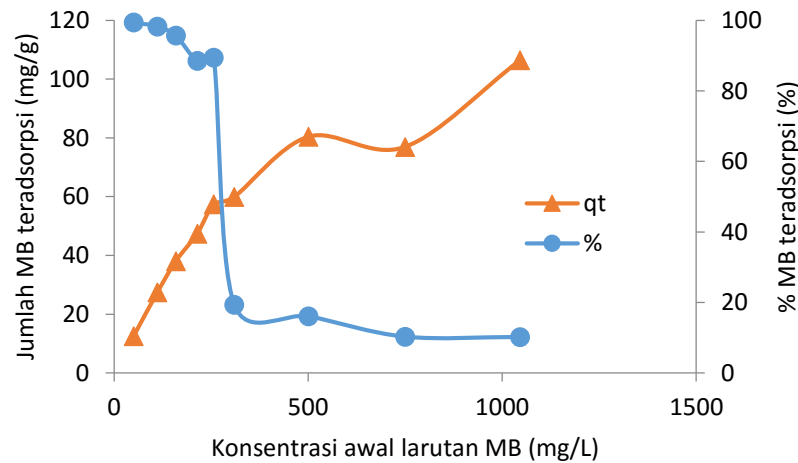
$$q_t = kt^{0.5} + I$$

dimana q_t merupakan jumlah MB teradsorpsi (mg g^{-1}) pada waktu t , t adalah waktu kontak (menit), k ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-0.5}$) merupakan koefisien laju difusi intrapartikel, dan I merupakan intersep yang diperoleh dari bidang q_t terhadap $t^{0.5}$.

Pengaruh konsentrasi awal larutan dilakukan untuk memperoleh informasi berapa konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum larutan MB. Gambar 5 dan 6 memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi maka jumlah MB yang terserap semakin meningkat. Pada awal penyerapan MB menggunakan adsorben Na-MMT yaitu pada 50 mg/L jumlah MB yang terserap sebesar 12,534 mg/g hingga konsentrasi 1000 mg/L sebesar 163,257 mg/g. Selanjutnya adsorben MMT-Kts menunjukkan penyerapan pada konsentrasi 50 mg/L sebesar 12,544 mg/g hingga konsentrasi 1000 mg/L sebesar 106,405 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah MB teradsorpsi oleh adsorben Na-MMT maupun MMT-Kts akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan MB hingga permukaan adsorben jenuh sehingga tercapai kesetimbangan antara konsentrasi MB yang terserap oleh adsorben dengan lingkungannya.



Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi awal larutan MB dengan jumlah MB teradsorpsi (qt) dan % adsorpsi pada Na-MMT (pH = 6, waktu kontak = 2 jam)



Gambar 6. Hubungan antara konsentrasi awal larutan MB dengan jumlah MB teradsorpsi (qt) dan % adsorpsi pada MMT-Kts (pH = 6, waktu kontak = 2 jam)

Berdasarkan penelitian ini belum tercapai titik kesetimbangan antara konsentrasi awal MB dengan adsorben Na-MMT maupun MMT-Kts sehingga dimungkinkan masih dapat terjadi adsorpsi pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan peningkatan konsentrasi zat warna dapat menyebabkan meningkatnya daya dorong adsorbat sehingga banyak MB yang terserap (Ambarsari, *et al.*; 2010).

Meskipun demikian, jika dilihat dari persentase penyerapan MB sudah terjadi penurunan persentase MB baik pada adsorben Na-MMT maupun MMT-Kts. Adsorben Na-MMT dari konsentrasi 50 mg/L sampai dengan 200 mg/L mengalami kenaikan persentase penyerapan MB yaitu dari 99,31% sampai dengan 99,97%. Pada titik ini, penyerapan MB terjadi secara optimal pada permukaan Na-MMT. Setelah itu, mengalami penurunan pada konsentrasi 250 mg/L sampai dengan konsentrasi 1000 mg/L menjadi 99,95% sampai dengan 62,43%. Penggunaan adsorben MMT-Kts sebagai adsorben MB dari konsentrasi 50 mg/L sampai dengan 1000 mg/L mengalami penurunan persentase penyerapan MB dari 99,39% sampai dengan 10,17%. Ini menandakan bahwa adsorpsi MB oleh adsorben MMT-Kts akan lebih baik pada konsentrasi rendah. Penurunan drastis terjadi pada konsentrasi 250 mg/L ke konsentrasi 300 mg/L dengan nilai persentase penyerapan 89,39% menjadi 19,34%. Penurunan persentase adsorpsi kemungkinan terjadi karena situs aktif pada permukaan adsorben telah mencapai titik jenuh (Saber-Samandari & Heydaripour; 2015). Gambar 5 dan 6 menunjukkan jumlah MB teradsorpsi optimum menggunakan adsorben Na-MMT dan MMT-Kts dalam penelitian ini sebesar 1000 mg/L dengan efisiensi rendah 62,43% dan 10,17%.

Simpulan

Interkalasi kitosan ke dalam Na-MMT menyebabkan peningkatan *basal spacing*, munculnya serapan baru, naiknya luas permukaan spesifik dan volume total pori. Na-MMT sebelum di interkalasi dengan kitosan lebih efektif digunakan sebagai adsorben MB. Na-MMT efektif digunakan untuk adsorpsi MB pada pH 4, waktu kontak 60 menit, dan konsentrasi awal larutan MB 1000 mg/L dengan efisiensi 62,43%. Sedangkan MMT-Kts efektif digunakan untuk adsorpsi MB pada pH 2, waktu kontak 90 menit, dan konsentrasi awal larutan MB 1000 mg/L dengan efisiensi 10,17%.

Daftar Pustaka

- Ambarsari, L.P., I. Ulfin & N. Widiastuti. 2010. *Adsorpsi Metilen Biru dengan Abu Dasar PT. Ipmomi Probolinggo Jawa Timur dengan Metode Kolom*. Paper. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November
- Arivoli, S., M. Hema, S. Parthasarathy & N. Manju. 2010. Adsorption Dynamics of Methylene Blue by Acid Activated Carbon. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2(5): 626-641
- Dhamayanti, Y., K. Wijaya & I. Tahir. 2005. Fotodegradasi Zat Warna *Methyl Orange* Menggunakan Fe₂O₃-Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet. *Proseding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM*. Jogjakarta: Universitas Gadjah Mada
- Darder, M., M. Colilla & E. Ruiz-Hitzky. 2003. Biopolymer-Clay Nanocomposites Based on Chitosan Intercalated in Montmorillonite. *Chemistry of Materials*, 15(20): 3774-3780
- Hamdaoui, O. & Chiha, M. 2006. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran. *Acta Chimica Slovenica*, 54: 407-418
- Hartanti, E., F.W. Mahatmanti & E.B. Susatyo. 2012. Sintesis Kitosan-Bentonit serta Aplikasinya sebagai Penurun Kadar Insektisida Jenis Diazinon. *Indonesian Jurnal of Chemical Science*, 1(2): 110-115
- Ismadji, S., F.E. Soetaredjo & A. Ayucitra. 2015. *Clay Materials for Environmental Remediation*. Springer Briefs in Molecular Science Green Chemistry for Sustainability. Heidelberg: Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-16712-1
- Monvisade, P. & P. Siriphannon. 2009. Chitosan Intercalated Montmorillonite: Preparation, Characterization and Cationic Dye Adsorption. *Applied Clay Science*, 42: 427-431
- Pusat Komunikasi Publik Kementerian Perindustrian. 2015. *Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia
- Riyanto & Julianto, T.S. 2009. *Degradasi Senyawa Metilen Biru dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platinum*. Yogyakarta: Proyek Penelitian Hibah Bersaing DIKTI
- Saber-Samandari, S. & Heydaripour. 2015. Onion Membrane: an Efficient Adsorbent for Decoloring of Wastewater. *Journal of Environmental Health & Engineering*, 13(16): 1-11
- Shouman, M.A., S.A. Khedr & A.A. Attia. 2012. Basic Dye Adsorption on Low Cost Biopolymer: Kinetic and Equilibrium Studies. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 2(4): 27-36
- Silva, S.M.L., C.R.C. Braga, M.V.L. Fook, C.M.O. Raposo, L.H. Carvalho & E.L. Canedo. 2012. *Application of Infrared Spectroscopy to Analysis of Chitosan/Clay Nanocomposites*. Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering, and Technology, Prof. Theophanides Theophile (Ed.). ISBN: 978-953-51-0537-4
- Sugita, P., Wukirsari, T., Sjahriza, A. & Wahyono, D. 2009. *Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bogor: Penerbit IPB Press
- Thommes, M., K. Kaneko, A.V. Neimark, J.P. Olivier, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol & K.S.W. Sing. 2015. Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9-10): 1051-1069
- Wang, L. & A. Wang. 2007. Adsorption Characteristic of Congo Red onto the Chitosan/Montmorillonite Nanocomposite. *Journal of Hazardous Materials*, 147: 979985

- Wijaya, K., E. Sugiharto, Mudasir, I. Tahir, I. Liawati. 2004. Sintesis Komposit Oksida-Besi Montmorillonit dan Uji Stabilitas Strukturnya terhadap Asam Sulfat. *Indonesian Journal of Chemistry*, 4(1): 33-42
- Zhou, Q., Q. Gao, W. Luo, C. Yan, Z. Ji & P. Duan. 2015. One-step Synthesis of Amino-functionalized Attapulgite Clay Nanoparticles Adsorbent by Hydrothermal Carbonization of Chitosan for Removal of Methylene Blue from Wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 470: 248-257
- ASTM C39M. 2014. *Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*. United States: West Conshohocken
- Bakharev, T. 2005. Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solution. *Cement and Concrete Research*, 36(6): 1134-1147
- Duxson, P., S.W. Mallicoat, G.C. Lukey, W.M. Kriven & J.S.J. Van Deventer. 2007. The Effect of Alkali and Si/Al Ratio on the Development of Mechanical Properties of Metakaolin-Based Geopolymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemistry Engineering Aspects*, 292(3): 8-20