

INTERCALATION OF OLYGOMER OF HYDROXYL-CHROMIUM INTO NATURAL KAOLINITE

Interkalasi Oligomer Hidroksil-kromium pada Kaolin Alam Tatakan

Rodiansono*, Reda Ariyantie and Abdullah

Program Study of Chemistry, University of Lambung Mangkurat
Jl. Unlam III Banjarbaru Kalimantan Selatan 70713

Received 11 July 2007; Accepted 28 September 2007

ABSTRACT

Preparation of a kaolin-hydroxyl chromium composite and characterization of its physico-chemical properties were conducted. The oligomer hydroxyl-chromium was prepared by adding Na_2CO_3 to 0.1 M chromium nitrate solution (ratio OH/Cr = 2) and then dried at 110 °C and 400 °C for 4 h. Characterization of kaolin-hydroxyl chromium composite includes determination of acidity, functional groups, basal spacing, and surface area (BET- N_2 sorption analyzer). The result showed that intercalation of hydroxyl chromium resulted in the decreasing of basal spacing but increased the specific surface area of kaolin. Drying of the intercalated kaolin at 400 °C decreased surface area, total volume pore and pore radius. FT-IR spectra showed that hydroxyl-chromium detected at wavelength of 2925 and 2855 cm^{-1} .

Keywords: natural kaolin, intercalation, oligomer hydroxyl-chromium, kaolin-hydroxyl chromium composite

PENDAHULUAN

Mineral lempung umumnya mempunyai luas permukaan yang spesifik. Besarnya luas permukaan spesifik tersebut tergantung pada sifat-sifat kimiawi kristal. Beberapa mineral lempung seperti pirofilit, kaolinit, illit dan klorit hanya memiliki permukaan eksternal, sehingga sifat adsorpsinya terbatas. Berbeda dengan mineral mengembang seperti smektit dan vermikulit memiliki permukaan internal yang lebih besar daripada permukaan eksternal [1].

Kaolin merupakan mineral hasil pelapukan batuan dan bentukan dari proses pelapukan feldspar dan muskovit. Mineral yang dapat dikelompokkan dalam kaolin adalah kaolinit sebagai mineral utama serta nakrit, dikrit dan halloisit sebagai mineral tambahan. Mineral kaolinit adalah alumina-silikat terhidrasi dengan komposisi kimia umum $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ per sel satuan dengan luas permukaan spesifik berkisar antara 7-30 m^2/g . Mineral kaolinit merupakan keluarga alumina-silikat yang berbentuk kristal dengan struktur berlapis (sering disebut dengan struktur dua dimensi), dan mempunyai ukuran partikel lebih kecil dari 2 μm . Lembaran-lembaran dalam dua dimensi tersebut terbentuk dari lapisan tetrahedral SiO_4^{4-} (T) dan oktahedra $[\text{AlO}_3(\text{OH})_3]^{6-}$ (O) dengan perbandingan T:O = 1:1, sehingga tidak ada kelebihan muatan baik logam terhidrat maupun hidroksil yang dapat dipertukarkan. Akibatnya mineral kaolinit tidak mengembang dan memiliki luas permukaan yang kecil [1], dan untuk merubah karakternya maka perlu dilakukan modifikasi.

Modifikasi kaolin diharapkan dapat memperbaiki karakteristiknya. Beberapa metode modifikasi kaolin antara lain aktivasi basa, aktivasi asam, interkalasi, pilarisasi, kalsinasi, *surfactants-modified*, kompleksasi.

Pilarisasi kaolinit dengan Al_2O_3 meningkatkan kapasitas tukar kation dan jarak kisi [2-3]. Hal ini menunjukkan bahwa kaolin dapat dipilarisasi dengan menginterkalasi aluminium oksida. Sementara itu, menurut Volzone [4] adsorpsi hidroksil-kromium terhadap kaolinit mampu meningkatkan luas permukaan eksternal. Kalsinasi polikation hidroksil-kromium terinterkalasi pada antar lapis lempung selama proses kalsinasi mengalami dehidrasi dan dehidroksilasi parsial menjadi kromium oksida [5]. Hidroksil-kromium merupakan oligomer kation kromium dengan rumus $\text{Cr}_n(\text{OH})_m^{3n-m}$ [6].

Interkalasi merupakan penyisipan reversibel suatu molekul dalam kisi yang dapat digunakan sebagai katalis, adsorben bahkan sel elektroda untuk baterai energi tinggi. Kaolinit dapat diinterkalasi dengan molekul organik seperti hidrazin, urea, formamida, asetamida, dimetilsulfoksida atau dimetilselenoksida [7]. Bahkan senyawa non linier optik p-nitroanilin dapat diinterkalasikan pada antarlapis kaolinit [8]. Namun lempung tersebut tidak dapat digunakan pada suhu 250-500 °C [9].

Berdasarkan uraian dan permasalahan di atas, maka penelitian untuk mempelajari pengaruh proses interkalasi hidroksil-kromium terhadap karakteristik kaolin alam perlu dilakukan. Karakteristik kaolin yang akan dipelajari meliputi luas permukaan, distribusi ukuran pori, volume total pori, sifat kristal dan gugus hidroksil.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades, kaolin alam Tatakan, bahan-bahan

* Corresponding author.
Email address : rodian_ch@yahoo.com

kimia buatan Merck dengan kualitas p.a. yaitu HCl, H₂O₂ 30 %, Cr(NO₃)₃·9H₂O, Na₂CO₃ anhidrat dan kertas saring Whatman 42.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, neraca analitik Ohaus, ayakan Retsch 230 mesh, pengaduk magnet, penangas, desikator, krus porselin, oven, alat refluks (kondensor dan gelas refluks), sentrifius Clement GS 150, pH meter, termometer, difraktometer sinar-X Philips tipe PW 1710 Based, spektrofotometer inframerah Bruker TENSOR 37 No. 21080104 dan *gas sorption analyzer* NOVA-1000, Quantachrome Corporation.

Prosedur

Preparasi kaolin

Kaolin didapatkan dari Desa Tatakan, Kecamatan Tapin Selatan, Kabupaten Tapin. Sampel disaring sampai diperoleh kaolin berukuran 230 mesh. Sebanyak 100 g kaolin dimasukkan dalam 2 L akuades sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 3 sampai 4 jam. Sejumlah 60 mL larutan H₂O₂ 30 % dimasukkan sedikit demi sedikit untuk menghilangkan zat-zat organik. Campuran didiamkan selama semalam sampai kaolin mengendap lalu bagian atas didekantir. Pada endapan kaolin ditambahkan lagi akuades dan diaduk lagi selama 3 sampai 4 jam, kemudian selanjutnya didiamkan lagi selama semalam. Perlakuan di atas diulangi sampai 3 kali untuk menghilangkan sisa larutan H₂O₂. Campuran dipisahkan sehingga diperoleh padatan kaolin dan dikeringkan di oven pada suhu 70 °C selama 4 sampai 5 jam. Padatan kaolin yang telah kering kemudian digerus dan didapatkan kaolin hasil preparasi.

Interkalasi oligomer hidroksil-kromium

Sebanyak 25 g sampel kaolin preparasi dikocok dengan 50 mL larutan HCl 1 M selama 4 jam, dibiarkan semalam, dicuci dengan akuades dan dipisahkan dari padatannya. Residunya dikeringkan di oven pada suhu 75 °C lalu digerus.

Oligomer hidroksil-kromium disiapkan berdasarkan metode yang diajukan oleh Wijaya dkk [10]. Sol hidroksil-kromium dibuat dengan cara menambahkan 5,5 g Na₂CO₃ pada 500 mL larutan 0,1 M Cr(NO₃)₃·9H₂O (Rasio OH/Cr= 2,0). Penambahan Na₂CO₃ secara perlahan-lahan sambil diaduk untuk menjaga pH yang terukur antara 4,0-4,2. Larutan dipanaskan pada suhu 95 °C dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 36 jam sehingga terbentuk sol berwarna hijau gelap. Sol ini didinginkan pada suhu kamar. Jumlah hidroksil-kromium yang diperlukan adalah 10 mmol per g sampel [4].

Proses interkalasi dilakukan berdasarkan metode Wijaya dkk [10]. Kaolin hasil preparasi ditimbang sebanyak 5 g lalu ditambahkan 500 mL akuades sehingga terbentuk suspensi dan diaduk selama 24 jam pada suhu kamar. Suspensi kaolin dituangkan pada sol Cr secara berangsur-angsur dengan kecepatan penambahan 1 mL/menit. Suhu suspensi dinaikkan menjadi 40 °C selama 20 jam. Fraksi padatan dipisahkan dan dicuci dengan akuades sebanyak 7 kali sampai terbentuk pasta berwarna hijau. Fraksi padatan dikeringkan pada suhu 110 °C dan 400 °C.

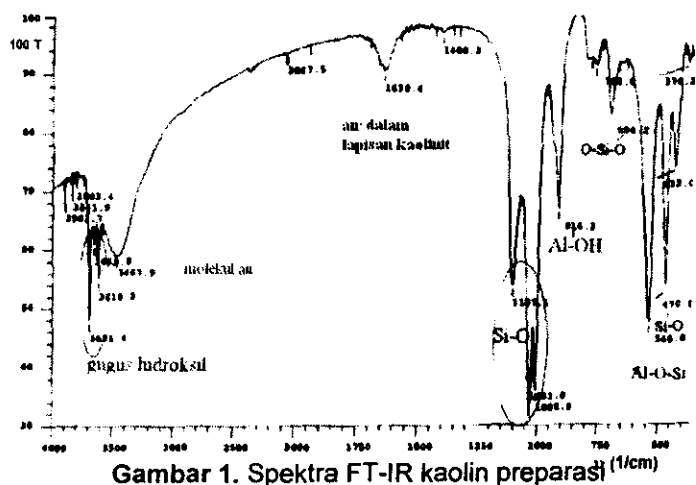
Analisis struktur dan sifat permukaan

Analisis struktur dan sifat permukaan menggunakan difraksi sinar-X (XRD), FT-IR dan N₂-sorption analyzer. Analisis XRD dengan radiasi Cu Kα (λ = 1,54056 Å) pada 2θ antara 10-70° digunakan untuk mengetahui profil kristal dan *basal spacing*/jarak kisi d₀₀₁. Analisis FT-IR pada bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹ untuk mempelajari profil pita serapan dan perubahannya sebelum dan sesudah proses interkalasi. Analisis serapan dilakukan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume total pori dan distribusi ukuran pori. Kode sampel yang dianalisis adalah kaolin alam hasil preparasi (K-P) dan kaolin terinterkalasi yang dipanaskan pada suhu 110 °C dan 400 °C berturut-turut (K-OHCr-110) dan (K-OHCr-400).

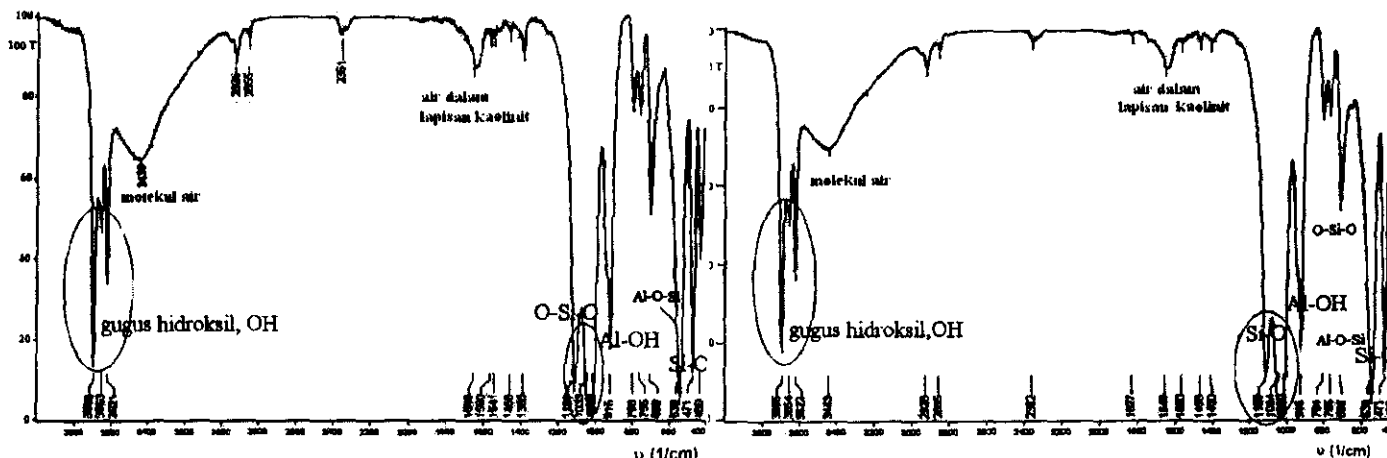
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Gugus Fungsi Sampel

Hasil analisis spektra FT-IR sampel kaolin hasil preparasi (Gambar 1) pada daerah sidik jari (1400 – 800 cm⁻¹) menunjukkan terdapat ikatan Si-O pada lapisan silika (470,6 cm⁻¹), Al-O-Si (540 cm⁻¹), O-Si-O (698,2 cm⁻¹), Al-OH (pita tajam pada 914,2 cm⁻¹), Si-O dalam tetrahedral silika (1006,8; 1033,8; 1107,1 cm⁻¹) [11-13].



Gambar 1. Spektra FT-IR kaolin preparasi (1/cm)



Gambar 2. Spektra IR untuk kaolin-OHCr 110 °C

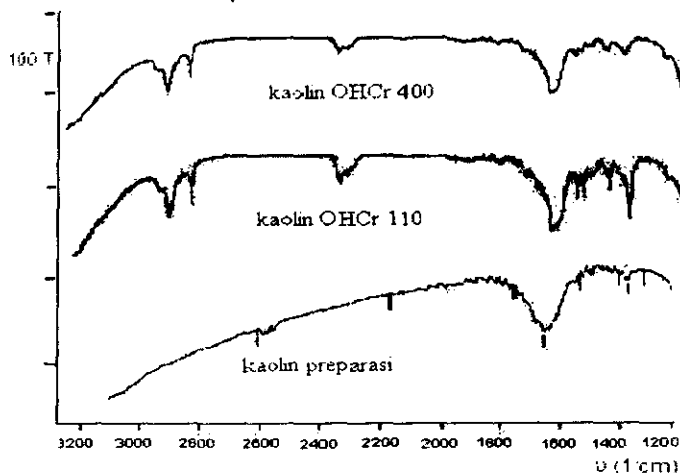
Gambar 3. Spektra IR untuk kaolin OHCr 400 °C

Keberadaan molekul air dalam lapisan kaolinit digambarkan oleh vibrasi tekuk $1639,4\text{ cm}^{-1}$. Daerah gugus fungsional ($4000\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$) menunjukkan vibrasi regangan molekul air ($3463,9\text{ cm}^{-1}$), gugus hidroksil O-H dalam kerangka aluminasilika ($3618,2\text{ cm}^{-1}$), dan gugus hidroksil luar ($3652,9$ dan 3695 cm^{-1}) [7,12-14]. Spektra IR pada sampel kaolin-OHCr-110 (Gambar 2) menunjukkan terdapat ikatan Si-O pada lapisan silika (471 cm^{-1}), Al-O-Si (539 cm^{-1}), O-Si-O ($698,2\text{ cm}^{-1}$), Al-OH (915 cm^{-1}), Si-O dalam tetrahedrasilika ($1008; 1033; 1109\text{ cm}^{-1}$), air dalam lapisan kaolinit (1649 cm^{-1} dan 3439 cm^{-1}), gugus hidroksil O-H dalam kerangka aluminasilika (3621 cm^{-1}), serta gugus hidroksil luar (3653 dan 3696 cm^{-1}).

Hasil analisis spektra IR pada sampel kaolin-OHCr-400 (Gambar 3) menunjukkan ikatan Si-O pada lapisan silika (471 cm^{-1}), Al-O-Si (539 cm^{-1}), O-Si-O (698 cm^{-1}), Al-OH ($914,2\text{ cm}^{-1}$), Si-O dalam tetrahedrasilika ($1009; 1034; 1109\text{ cm}^{-1}$), air dalam lapisan kaolinit (1649 cm^{-1} dan 3443 cm^{-1}), dan gugus hidroksil O-H dalam kerangka silika alumina (3622 cm^{-1}), serta gugus hidroksil luar (3654 dan 3696 cm^{-1}).

Perubahan gugus fungsi tidak terjadi pada daerah sidik jari setelah diinterkalasi. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan pada lapisan aluminasilikat kaolinit. Interkalasi hidroksil-kromium hanya mempengaruhi gugus fungsional yang diakibatkan oleh air dalam lapisan kaolinit dan gugus OH oktahedral (3000 cm^{-1}) sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Molekul air yang semula berada pada $1639,4$ bergeser menjadi 1649 cm^{-1} dan $3463,9$ bergeser menjadi 3439 cm^{-1} karena keberadaan hidroksil-kromium. Gugus hidroksil yang semula pada $3618,2$ bergeser menjadi 3621 cm^{-1} . Vibrasi tekuk molekul air pada $1639,4$ lebih sensitif terhadap dehidrasi permukaan karena tidak ada pita yang tumpang tindih dengan pita gugus fungsi permukaan yang lainnya [14].

Pergeseran pada daerah gugus hidroksil mengindikasikan keberadaan interaksi gugus hidroksil



Gambar 4. Pergeseran gugus fungsi

dengan hidroksil-kromium dan menegaskan keberadaan hidroksil-kromium pada permukaan. Puncak-puncak baru pada 2925 dan 2855 cm^{-1} ditemukan pada kaolin hasil interkalasi hidroksil-kromium dan tetap ada setelah dipanaskan. Puncak-puncak baru tersebut kemungkinan menunjukkan keberadaan hidroksil-kromium. Silika-alumina setelah mengalami perlakuan $\text{Cr}(\text{CO})_6$ atau $[\text{Cr}(\text{CO})_3(\text{C}_6\text{H}_6)]$ dan *thermal ageing polymer* dengan polimetilen linear rantai panjang memunculkan puncak pada 2925 dan 2855 cm^{-1} [15].

Puncak-puncak pada $3803,4; 3841,9; 3903,7\text{ cm}^{-1}$ sebagai daerah serapan air dan gugus OH oktahedral hilang setelah interkalasi dengan hidroksil-kromium dan dipanaskan. Proses pemanasan tidak mempengaruhi daerah sidik jari dan gugus fungsional. Hanya terjadi sedikit pergeseran pada molekul air terhidrat yang semula 3439 cm^{-1} bergeser menjadi 3443 cm^{-1} karena menguap sebagai molekul air.

Analisis Jarak Kisi

Oligomer hidroksil-kromium mengandung spesies trimerik $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$, tetra $\text{Cr}_4(\text{OH})_6^{6+}$ dan dimer $\text{Cr}_2(\text{OH})_2^{4+}$ yang mempunyai tinggi 5; 6,5 dan 4 Å. Berdasarkan penelitian Volzone [16] jarak kisi smektit meningkat setelah diinterkalasi dengan hidroksil-kromium dan menurun setelah dipanaskan pada suhu 450 °C.

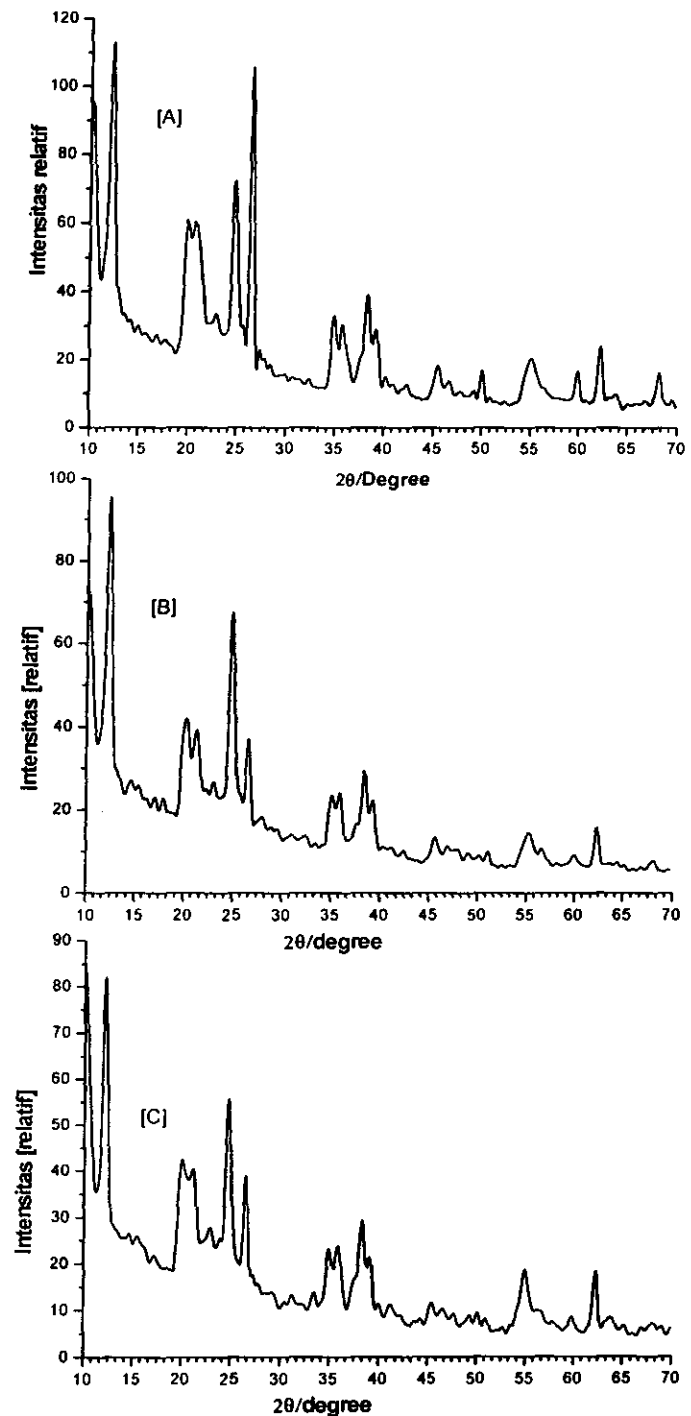
Ketiga sampel berdasarkan interpretasi hasil analisis XRD mengandung kaolinit dan kuarsa (Gambar 5). Berdasarkan standar sistem ASTM, maka kaolin preparasi mengandung kaolinit dengan kode 14-0164 (Kaolinite 1A) dan kuarsa dengan kode 33-1161 (Quartz). Kaolin OHCr 110 mengandung kaolinit dengan kode 05-0143 (Kaolinite) dan kuarsa dengan kode 46-1045 (Quartz).

Kaolin OHCr 400 mengandung kaolinit dengan kode 06-0221 (Kaolinite 1) dan kuarsa dengan kode 05-0490 (Quartz). Keberadaan mineral kaolinit terdeteksi pada 2θ sekitar 12° dan 25°. Perlakuan interkalasi hidroksil-kromium dan kalsinasi menyebabkan pergeseran puncak, jumlah dan intensitasnya. Posisi puncak pada 2θ ditentukan oleh struktur kristal sedangkan intensitas puncak dipengaruhi oleh nomor atom dan posisi atom pembentuk unit sel kristal.

Jarak kisi dapat ditentukan dengan hukum Bragg: $n\lambda = d \cdot \sin \theta$. Interkalasi hidroksil-kromium dan pemanasan memberi pengaruh yang berlawanan meski pengaruhnya tidak terlalu berarti. Interkalasi menurunkan jarak kisi, sedangkan pemanasan meningkatkan jarak kisinya. Mineral kaolinit pada kaolin hasil preparasi diidentifikasi pada 2θ sebesar 12,305° dan 24,835° dengan jarak kisi 7,187 Å dan 3,582 Å, berubah pada kaolin terinterkalasi hidroksil-kromium menjadi 12,370° dan 24,850° dengan jarak kisi 7,150 Å dan 3,580 Å. Setelah pemanasan pada suhu 400 °C 2θ menjadi 12,165° dan 24,720°, bersesuaian dengan jarak kisi sebesar 7,270 Å dan 3,599 Å.

Keberadaan hidroksil-kromium kemungkinan menyebabkan jarak kisi menurun, sedangkan pemanasan pada suhu 400 °C menyebabkan terbentuk kromium oksida, Cr_2O_3 . Keberadaan kromium oksida menjadi pilar dalam antar lapis kaolinit sehingga jarak kisinya meningkat. Namun kedua hal tersebut tidak begitu berarti disebabkan hanya sedikit hidroksil-kromium yang terinterkalasi karena retensi oligomer hidroksil-kromium pada kaolinit hanya sebesar 1,15% [4].

Perubahan jarak kisi ini juga dipengaruhi oleh jenis molekul yang diinterkalasikan pada kaolinit. Pelebaran jarak kisi dari 7,24 Å menjadi 10,19 Å terjadi pada kaolinit yang dipilarisasi dengan alumina oksida, Al_2O_3 yang berasal dari ion Keggin, $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}12\text{H}_2\text{O}]^{7-}$ [2]. Interkalasi kaolinit dengan molekul organik menghasilkan pelebaran jarak kisi sekitar 10 – 12 Å [7].



Gambar 5. Difraktogram kaolin preparasi [A], kaolin terinterkalasi hidroksi kromium pada pengeringan 110 °C [B] dan 400 °C [C]

Jumlah puncak kaolin preparasi lebih banyak dibanding setelah setelah diinterkalasi hidroksil-kromium menurun setelah proses pengeringan pada 100 °C dan 400 °C. Begitu pula dengan intensitas

Tabel 1. Perubahan jarak kisi dan intensitas

No.	Jenis sampel	$2\theta(^{\circ})$	$d(\text{\AA})$	Intensitas puncak (jumlah)
1	Kaolin preparasi	12,305	7,187	231
2	Kaolin-OHCr ₁₁₀	12,370	7,150	219
3	Kaolin-OHCr ₄₀₀	12,165	7,270	202

Tabel 2. Hasil pengukuran sifat permukaan

No.	Jenis sampel	Luas permukaan spesifik (m^2/g)	Volume total pori ($10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$)	Jejari rerata pori (\AA)
1	Kaolin preparasi	29,379	28,580	19,456
2	Kaolin-OHCr ₁₁₀	30,763	24,824	16,139
3	Kaolin-OHCr ₄₀₀	19,556	16,399	16,771

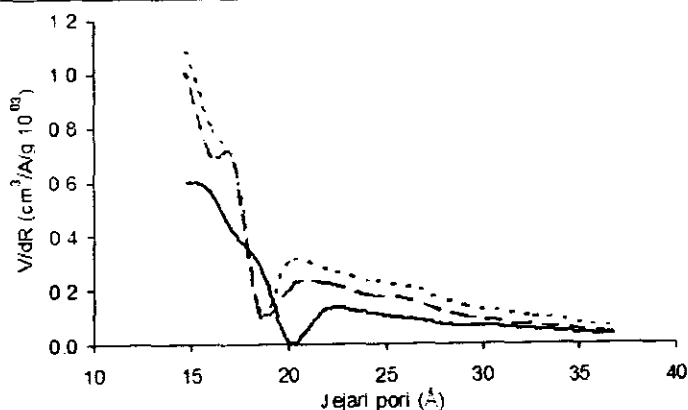
puncak yang spesifik untuk kaolinit setelah diinterkalasi dan dipanaskan pada suhu 400 °C sebagian menurun karena struktur kaolin tersebut runtuh akibat pemanasan. Namun sebagian lainnya justru meningkat intensitasnya, walaupun tidak terlalu berarti. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian kaolinit yang tidak runtuh tersebut disangga oleh hidroksil-kromium. Kecilnya pengaruh tersebut dikarenakan hanya sedikit jumlah hidroksil-kromium yang dapat terinterkalasi pada antar lapis kaolinit. Puncak-puncak spesifik silika lebih banyak mengalami penurunan intensitas atau hilang sehingga setelah pemanasan hanya terdapat sedikit silika.

Analisis Sifat Permukaan

Interkalasi dengan hidroksil-kromium menyebabkan perubahan fisika kimia pada sampel kaolin. Luas permukaan spesifik meningkat dari 29,379 m^2/g menjadi 30,763 m^2/g namun ketika dipanaskan pada suhu 400 °C luas permukaan spesifik menurun menjadi 19,556 m^2/g . Berlawanan dengan volume total pori dan jejari rerata pori yang menurun. Interaksi elektrostatis antara ion oligomer kromium dengan Si dan Al pada lapis kaolin dan penyisipan oligomer hidroksil-kromium menutupi pori-pori permukaan kaolin sehingga dengan ukuran molekulnya yang lebih besar luas permukaan kaolin meningkat. Hal ini pula yang menjadikan volume total pori dan ukuran jejari rerata pori mengecil (Tabel 2).

Tekstur dan sifat permukaan lempung setelah perlakuan dengan hidroksil-kromium terutama berkaitan dengan muatan negatif lapisan oktahedra. Tingginya muatan negatif dari lapisan oktahedra berhubungan dengan peningkatan luas permukaan mikropori. Montmorilonit memperlihatkan luas permukaan terbesar (276 m^2/g) dibanding vermikulit (13 m^2/g) dan kaolinit (~1 m^2/g) [4]. Hal ini memungkinkan interaksi antara spesies logam dan muatan negatif dari lapisan atau gugus hidroksil dari lembaran oktahedra [16]. Kaolinit memiliki muatan negatif yang kecil sehingga pengaruh perlakuan interkalasi hidroksil-kromium juga tidak terlalu besar terhadap sifat permukaannya.

Pemanasan kaolin pada suhu 400 °C menyebabkan luas permukaan spesifik dan volume total pori menurun dan jejari rerata pori sedikit meningkat.



Gambar 6. Distribusi ukuran pori dari kaolin preparasi [- - -], kaolin-OHCr-110 °C [---], dan kaolin-OHCr-400 °C [—]

Pemanasan pada suhu 400 °C mengakibatkan struktur kaolin runtuh dimana ikatan hidrogen pada antar lapis kaolin hilang karena energi panas memutuskan ikatannya dan gugus-gugus hidroksil menjadi uap air.

Distribusi pori ditampilkan dalam Gambar 6. Terlihat bahwa kaolin hasil preparasi didominasi oleh pori berukuran lebih kecil dari 30 Å. Setelah diinterkalasi dengan hidroksil-kromium, ukuran pori yang dominan berukuran 25 Å, sedangkan setelah dipanaskan pada suhu 400 °C, pori dominan berukuran di bawah 20 Å. Tingkat keseragaman pori menurun karena pengaruh pemanasan. Semua sampel kaolin didominasi oleh mikropori, meski juga terlihat adanya mesopori. Namun distribusi mesopori menurun setelah kaolin mengalami perlakuan interkalasi hidroksil-kromium serta pemanasan pada suhu 400 °C. Ukuran pori yang semakin kecil menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara kaolin dengan oligomer hidroksil-kromium.

Distribusi pori berukuran 18 Å mengalami peningkatan setelah dikalsinasi, sedangkan distribusi pori berukuran 20 Å menurun. Kemungkinan besar distribusi pori berukuran 20 Å menurun karena runtuhnya struktur kaolin atau penyisipan hidroksil-kromium yang menyebabkan pori berukuran 20 Å berubah menjadi pori berukuran lebih kecil. Hal ini terlihat dari peningkatan sebaran pori berukuran 18 Å.

KESIMPULAN

Interkalasi hidroksil-kromium dalam antarlapis kaolinit menyebabkan pergeseran pada gugus hidroksilnya dan memunculkan serapan baru pada panjang gelombang 2925 dan 2855 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan kromium. Interkalasi dapat meningkatkan luas permukaan dan turun setelah pemanasan pada suhu 400 °C. Jarak kisi kaolin alam menurun setelah diinterkalasi dengan hidroksil-kromium, namun meningkat setelah dipanaskan pada suhu 400 °C.

DAFTAR PUSTAKA

1. Konta, J., 1995, *Appl. Clay Sci.*, 10, 275-335.
2. Muhdarina, Linggawati A, Verawaty and Mardianus, 2000, *Jurnal Natur Indonesia*, 3(1), 27.
3. Muhdarina and Linggawati. A., 2003, *Jurnal Natur Indonesia*, 6(1), 20-23.
4. Volzone, C., 1998, *Austral. J. Soil Res.*, 36(3), 423-428.
5. Sychev, M., de Beer, V.H.J., Kodentsov, A., van Oers, E.M., and van Santen, R.A., 1997, *J. Catal.* 168, 245-254.
6. Volzone, C. and Cesio A.M., 2004, *Braz. J. Chem. Eng.*, 21(4), 593-599.
7. Frost R.L., Kloprogge J.T., Tran T.H.T and Kristof, J., 1998, *American Mineralogist.*, 83, 1182-1187.
8. Kuroda, K., Hiraguri K., Komori Y., Sugahara Y., Mouri H., and Uesu Y., 1999, *Chem. Commun.*, 2253-2254.
9. Yoon, J.B., Hwang S.H., and Choy J.H., 2000, *Bull. Korean Chem. Soc.*, 21(10), 989-994.
10. Wijaya, K., Tahir I., and Baikuni B., 2002, *Indo J Chem.*, 2(1), 11-19.
11. Sucha, V., Elsass F, Eberl D.D., Kuchta L., Majedova J., Gates W.P., and Komadel P., 1998, *American Mineralogist.*, 83, 58-67
12. Linares, C.F., Afonso L., and Brussin M.R., 2004, *Appl. Clay Sci.* 4(3), 472-476
13. Lopez, Y.M.C., 2005, *FTIR Microspectroscopy of RDX Interactions with Clay Minerals*, Thesis, University of Puerto Rico.
14. Dowding, C.E., Borda M.J., Fey M.V., and Sparks D.L., 2005, *J. Colloid & Interface Sci.*, 292, 148-151.
15. Hunter, G., Rochester C.H., Wilkinson A.G., and Paton J., 1997, *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 93(6), 1205-1210
16. Volzone, C., 2001, *Microporous and Mesoporous Materials*, 49, 194-199