

KARAKTERISASI ADSORBEN KOMPOSIT ALUMINIUM OKSIDA PADA LEMPUNG TERAKTIVASI ASAM

P. Suarya

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran

ABSTRAK

Telah dilakukan preparasi komposit aluminium oksida pada lempung. Preparasi dilakukan yaitu: pertama aktivasi dengan asam sulfat 1,2 M yang kemudian dilanjutkan dengan penyisipan polioksidation aluminium yang kemudian dikalsinasi untuk membentuk komposit aluminium oksida (Al_2O_3). Karakterisasi dilakukan dengan metode difraksi sinar-X untuk menentukan *basal spacing* (d_{001}), metode titrasi asam basa untuk menentukan keasaman permukaan, serta spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur luas permukaan spesifik.

Hasil penelitian melalui aktivasi dengan asam sulfat dan penyisipan komposit aluminium oksida menyebabkan terjadinya peningkatan keasaman permukaan berturut turut untuk adsorben CC_{0-0} , CC_{a-0} , CC_{a-1} , CC_{a-2} , dan CC_{a-3} yaitu 0,4665; 0,9743; 1,2957; 1,1609; dan 1,1193 mmol/g adsorben. Luas permukaan spesifik yang dihasilkan berturut-turut 27,0307 m^2/g ; 28,2351 m^2/g ; 29,0040 m^2/g ; 29,2074 m^2/g ; dan 29,1513 m^2/g adsorben untuk CC_{0-0} , CC_{a-0} , CC_{a-1} , CC_{a-2} , dan CC_{a-3} . Hasil difraksi sinar-X menunjukkan adsorben mengandung campuran mineral berupa montmorillonit, kaolinit, klorit, feldspar, dan kalsit.

Kata kunci : lempung, adsorben, adsorpsi, komposit aluminium oksida

ABSTRACT

Composite of alluminium oxide in clay has been prepared. The materials were prepared as follow: first, clay was activated with 1.2 M sulphuric acid, then intercalated using polyoxycation of alluminium, and finally calcinated to form composite of alluminium oxide (Al_2O_3). X-ray diffraction (XRD) was employed to characterize basal spacing (d_{001}). Acid-base titration was used for determining the surface acidity, and spectrophotometer UV-Vis for determining the specific surface area.

The results show that activation of clay with sulphuric acid and interchallation with polyoxycation of alluminium increase the surface acidity of aluminium oxide composite in clay the namely. The specific surface area of CC_{0-0} , CC_{a-0} , CC_{a-1} , CC_{a-2} and Cc_{a-3} were 27.0307 m^2/g ; 28.2351 m^2/g ; 29.0040 m^2/g ; 29.2074 m^2/g ; and 29.1513 m^2/g respectively. The X-ray results indicated that adsorbent was composed by montmorillonite, kaolinite, chlorite, feldspar, and calsite.

Keywords : clay, adsorbent, adsorption, composite of alluminium oxide

PENDAHULUAN

Lempung banyak dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif bahan penyerap (adsorben) karena memiliki luas permukaan yang besar, porositas yang tinggi, kelimpahannya tinggi,

serta harga yang relatif lebih murah dibandingkan dengan adsorben yang lain. Berdasarkan kandungan mineralnya, tanah lempung dibedakan menjadi montmorillonit, kaolinit, haloisit, klorit, dan illit. Montmorillonit termasuk mineral lempung yang memiliki sifat

mudah mengembang, memiliki kation-kation yang dapat dipertukarkan dan luas permukaan yang cukup besar. Sifat-sifatnya tersebut menjadikan montmorillonit cocok dimanfaatkan sebagai adsorben. Namun tanpa dimodifikasi terlebih dahulu, bila diaplikasikan sebagai adsorben, montmorillonit memberikan hasil yang kurang maksimal. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang mudah menyerap air dan pori-pori yang dimilikinya sering tidak seragam. Oleh karena itu, usaha pengembangan potensi lempung ini perlu terus ditingkatkan agar daya gunanya lebih bervariasi dan menguntungkan (Wijaya, 2003). Berbagai penelitian yang telah dilakukan terhadap tanah lempung mendapatkan bahwa aktivitas lempung tidak termodifikasi umumnya tidak begitu tinggi, sehingga untuk meningkatkan aktivitasnya, baik secara fisik maupun kimia perlu adanya modifikasi terhadap tanah lempung (Negara, 2005).

Penelitian Suarya (2005), melaporkan bahwa interkalasi garam amonium kuarterner dan asam palmitat ke dalam antarlapis lempung bentonit menyebabkan peningkatan *basal spacing*, keasaman permukaan dan kapasitas adsorpsinya terhadap Pb^{2+} . Simpen (2001) melaporkan lempung montmorillonit teraktivasi asam sulfat 1,5 M terpillar TiO_2 memiliki luas permukaan dan keasaman permukaan yang relatif tinggi yaitu 275,5984 m^2/g dan 1,5341 mmol/g, sedangkan lempung tanpa dimodifikasi hanya memiliki luas permukaan 88,1316 m^2/g dan keasamaan permukaan sebesar 0,6844 mmol/g.

Salah satu metode untuk meningkatkan sifat-sifat fisik dan kimia lempung adalah proses aktivasi dengan asam yang diikuti dengan penyisipan polioksidation aluminium ke dalam struktur lempung yang selanjutnya dikalsinasi untuk membentuk komposit aluminium oksida. Pemanfaatan oksida logam aluminium ini sebagai agen pembentuk komposit disebabkan hidrolisisnya paling mudah dikontrol dan dimensi oksida yang terbentuk tidak sensitif terhadap kondisi hidrolisis. Pembentukan komposit aluminium oksida melalui mekanisme pertukaran kation. Kation-kation yang mudah dipertukarkan terlebih dahulu dipertukarkan dengan H^+ dari asam, selanjutnya kation-kation yang belum tergantikan akan digantikan oleh

kation aluminium dari agen pembentuk komposit.

Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi lempung melalui pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung yang terlebih dahulu diaktivasi dengan asam sulfat. Pemilihan asam sulfat sebagai asam pengaktif disebabkan asam sulfat merupakan asam mineral kuat dengan jumlah ekivalen asam (H^+) lebih banyak dari asam mineral lain yang umum digunakan seperti asam nitrat dan asam klorida. Aktivasi lempung dengan asam mineral dapat melarutkan pengotor-pengotor atau senyawa-senyawa yang dapat menurunkan kapasitas adsorpsi sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat (Simpen, 2002). Modifikasi lempung melalui pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung ini ditentukan sifat-sifat fisik dan kimianya seperti *basal spacing* (d_{001}), luas permukaan spesifik dan keasaman permukaan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah : lempung dari PT. BRATACO Yogyakarta, H_2SO_4 pekat (p.a, 96% v/v; $B_j=1,84$ kg/L), HCl pekat (p.a, 37% v/v; $B_j=1,19$ kg/L), $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (p.a), NaOH (p.a), $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ (p.a), $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ (p.a), $AgNO_3$ (p.a), metilen biru, indikator pp, dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain timbangan analitik, ayakan 106 dan 250 μm , oven, desikator, penggerus porselin, kaca arloji, *hotplate* dan *magnetic stirrer*, pH meter, termometer, *furnace*, gelas ukur, gelas beker, erlenmeyer, labu ukur, pipet ukur, pipet volume, pipet mikro ukuran 100-1000 μL , buret, corong gelas, pipet tetes, bola hisap, statif dan klem, spatula, pencatat waktu, kertas saring halus, kertas saring Whatman 42, Difraktometer Sinar-X dan Spektrofotometer UV-Vis.

Cara Kerja

Aktivasi lempung dengan asam sulfat

Sebanyak 300 g lempung dengan ukuran 250-106 μm ditimbang dengan teliti, yang mana 250 g lempung didispersikan kedalam 1,25 L larutan H_2SO_4 1,2 M dalam gelas beker berukuran 2 L (diberi kode C_a) dan 50 g lempung yang tersisa digunakan sebagai kontrol yang didispersikan dalam 250 mL akuades dalam gelas beker berukuran 1 L (diberi kode C_0) sambil diaduk dengan pengaduk magnet dengan kecepatan konstan. Aktivasi dilakukan selama 24 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan air panas (60-70 $^\circ\text{C}$) sampai terbebas dari ion sulfat yang ditandai dengan tidak terbentuknya endapan putih BaSO_4 saat filtrat diuji dengan BaCl_2 . Lempung kemudian dioven pada suhu 100-110 $^\circ\text{C}$ sampai kering (selama ± 3 jam). Lempung digerus sampai halus, dan diayak menggunakan ayakan 250 dan 106 μm (lolos 250 μm dan tertahan 106 μm), selanjutnya disimpan dalam desikator.

Pembuatan larutan polioksikation aluminium

Larutan polioksikation aluminium dibuat dengan cara menghidrolisis larutan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,2 M dengan larutan NaOH 0,2 M secara perlahan-lahan sampai rasio $\text{OH}/\text{Al} = 2$. Larutan ini diaduk sampai homogen selama 24 jam, selanjutnya dilakukan proses *aging* selama 5 hari pada temperatur kamar. Dibuat 3 larutan polioksikation aluminium dengan variasi rasio mmol Al/lempung 1, 2, dan 3.

Pembuatan suspensi lempung

Sebanyak 25 g lempung C_a dan C_0 ditimbang dengan teliti dan dilarutkan dalam 500 mL akuades atau dengan perbandingan 5% (b/v). Larutan ini diaduk dengan pengaduk magnet dengan kecepatan konstan selama 5 jam pada suhu kamar. Dibuat tiga suspensi sesuai dengan kajian variasi mmol Al/lempung, satu suspensi untuk lempung kontrol dan satu suspensi untuk lempung teraktivasi asam.

Proses pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung

Suspensi untuk kajian variasi mmol Al/lempung yang telah disiapkan ditambahkan

sedikit demi sedikit larutan polioksikation aluminium dengan perbandingan mmol Al/lempung 1; 2; dan 3 sambil diaduk dengan kuat dengan pengaduk magnet dengan kecepatan konstan selama 24 jam (sampel berturut-turut diberi kode C_{a-1} , C_{a-2} , dan C_{a-3}). Sedangkan suspensi untuk lempung tanpa perlakuan/kontrol (kode C_{0-0}) dan lempung teraktivasi asam (kode C_{a-0}) tanpa ditambahkan larutan polioksikation aluminium. Seluruh campuran dibiarkan selama 24 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga bebas ion Cl^- (uji negatif terhadap AgNO_3 yaitu jika filtrat diuji dengan AgNO_3 tidak membentuk endapan putih AgCl), kemudian dioven pada suhu 100-110 $^\circ\text{C}$ sampai kering (selama ± 5 jam), selanjutnya digerus sampai halus, diayak menggunakan ayakan 250 dan 106 μm (lolos 250 μm dan tertahan 106 μm), dan dikalsinasi pada suhu 400 $^\circ\text{C}$ selama 3 jam (sampel berturut-turut diberi kode CC_{0-0} , CC_{a-0} , CC_{a-1} , CC_{a-2} , dan CC_{a-3}). Adsorben yang telah terbentuk ditentukan luas permukaan spesifiknya dengan spektrofotometer UV-Vis dengan metode metilen biru, keasaman permukaan dengan titrasi asam basa, dan jenis mineral dan perubahan *basal spacing* (d_{001}) dengan difraktometer sinar-X.

HASIL DAN PEMBAHASAN

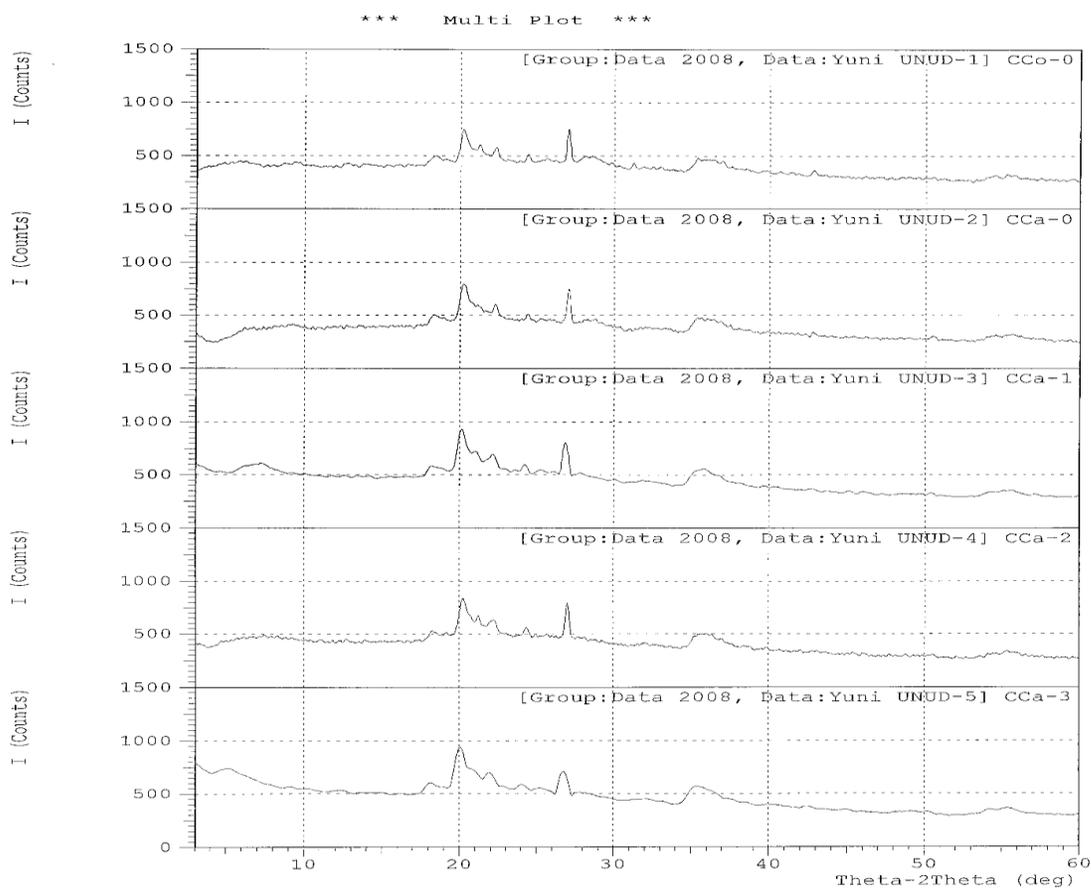
Fenomena terjadinya komposit aluminium oksida dapat diketahui dengan melihat data difraktogram sinar-X pada Gambar 1.

Hasil karakterisasi adsorben CC_{0-0} dengan metode difraksi sinar-X menunjukkan bahwa adsorben tersebut mengandung beberapa mineral yang dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak difraksi pada nilai 2θ yang karakteristik. Puncak difraksi pada daerah $2\theta = 5,7200^\circ$ dengan jarak dasar/*basal spacing* (d_{001}) = 15,43821 Å diperkirakan merupakan *basal spacing* untuk mineral montmorillonit. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Simpen (2001) yang menemukan lempung Na-montmorillonit terhidrat mempunyai jarak dasar/*basal spacing* (d_{001}) sebesar 15,53 Å pada daerah $2\theta = 5,69^\circ$. Sedangkan Widihati (2005) menyebutkan karakterisasi Na-montmorillonit dengan metode difraksi sinar-X menunjukkan adanya refleksi

spesifik pada daerah $2\theta = 5,97^\circ$ yang merupakan ciri khas bidang 001 mineral montmorillonit. Refleksi puncak yang khas untuk montmorillonit adalah ramping. Namun dari hasil difraksi sinar-X diperoleh puncak montmorillonit melebar dan intensitasnya lemah. Hal ini mengindikasikan kandungan montmorillonit yang sangat rendah dalam lempung disamping juga akibat kerusakan struktur montmorillonit akibat proses kalsinasi. Montmorillonit yang tanpa dimodifikasi memiliki stabilitas termal yang rendah, sehingga apabila mengalami pemanasan akan terjadi kerusakan struktur.

Puncak yang kuat juga ditunjukkan oleh data difraktogram pada daerah $2\theta = 20,2571^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} = 4,38026 \text{ \AA}$. Puncak ini

diperkirakan berupa mineral kaolinit. Tan (1982) menyebutkan mineral kaolinit selain memiliki jarak dasar d_{001} yang khas pada $7,10-7,20 \text{ \AA}$, juga memiliki jarak dasar antara $4,35-4,36 \text{ \AA}$. Diperkirakan pada daerah $2\theta = 20,2571^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} = 4,38026 \text{ \AA}$ adalah berupa mineral kaolinit yang mana jarak dasarnya dekat dengan rentang jarak dasar kaolinit menurut Tan (1982). Tan (1982) juga menyebutkan jarak dasar d_{001} mineral klorit berkisar antara $13,0-14,0 \text{ \AA}$ sehingga puncak pada daerah $2\theta = 6,6600^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} = 13,26120 \text{ \AA}$ diperkirakan berupa mineral klorit. Puncak difraksi yang tidak tajam pada $2\theta = 6,6600^\circ$ yang menunjukkan adanya mineral klorit.



Gambar 1. Difraktogram difraksi sinar-X

Refleksi puncak dengan jarak dasar d_{001} 3,30 Å merupakan karakteristik dua mineral, yaitu kalsit dan gipsit. Perbedaan kedua mineral tersebut terdapat pada intensitas puncaknya. Kalsit memiliki karakteristik puncak yang tajam dengan intensitas yang kuat, sedangkan gipsit memiliki karakteristik puncak yang rendah dengan intensitas yang lemah (Tan, 1982). Dari Gambar 1 terlihat bahwa pada $2\theta = 26,9783^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} = 3,30231$ Å dan intensitas yang kuat diperkirakan bahwa puncak tersebut adalah kalsit. Intensitas puncak tertinggi ini menunjukkan dalam adsorben CC_{0-0} (lempung kontrol) tersebut mengandung komponen utama berupa kalsit.

Pada daerah $2\theta = 21,2200^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} 4,18362$ Å diperkirakan berupa mineral feldspar. Hal ini diperkuat oleh data dari Tan (1982) yang memberikan informasi bahwa pada jarak dasar antara 4,00-4,20 Å dengan intensitas yang cukup tinggi yang didukung oleh adanya puncak pada jarak dasar $d = 3,73-3,75$ Å dengan intensitas rendah sampai cukup tinggi adalah karakteristik untuk mineral feldspar. Data pendukung pada jarak dasar $d_{001} = 4,18362$ Å adalah berupa mineral feldspar adalah puncak pada daerah $2\theta = 24,3480^\circ$ dengan jarak dasar $d_{001} = 3,65277$ Å. Nilai jarak dasar ini berada pada rentang nilai jarak dasar untuk mineral feldspar. Susianah (2005) menemukan feldspar berada pada daerah $2\theta = 22,20^\circ$.

Pengaruh aktivasi menyebabkan perubahan puncak refleksi dari hasil analisis difraksi sinar-X. Perubahan akibat proses aktivasi dengan asam dapat dilihat dari adanya pergeseran 2θ untuk mineral montmorillonit ke arah kiri yaitu dari $2\theta = 5,7200^\circ$ dengan jarak dasar d_{001} sebesar 15,43821 Å menjadi 14,33643 Å dan $2\theta = 6,1600^\circ$ untuk lempung teraktivasi asam. Hal ini diduga disebabkan oleh terlarutnya kation-kation yang mudah ditukarkan seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} dan/ atau Al, Mg, dan Fe (pada lembar oktahedral) sehingga perubahan struktur dari oktahedral menjadi tetrahedral telah terjadi yang menyebabkan penurunan kristalinitasnya. Penurunan kristalinitas ini bisa dilihat dari refleksi puncak yang semakin melebar. Namun intensitas puncaknya mengalami peningkatan setelah aktivasi dengan asam yang diduga

disebabkan terlarutnya pengotor-pengotor yang menutupi pori-pori montmorillonit.

Puncak refleksi untuk mineral kaolinit mengalami pergeseran 2θ ke arah kanan yaitu menjadi $20,2200^\circ$ dengan jarak dasar d_{001} meningkat menjadi 4,38821 Å. Hal ini diduga disebabkan oleh kation-kation yang mudah ditukarkan seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} telah terlarutkan oleh adanya asam (tergantikan oleh kation H^+). Intensitas puncak refleksinya juga mengalami peningkatan seperti halnya dengan mineral montmorillonit yang juga disebabkan terlarutnya lebih banyak pengotor yang menutupi pori-pori kaolinit.

Adanya aktivasi juga menyebabkan penurunan intensitas dari mineral klorit. Selain itu nilai 2θ bergeser ke kanan, akibatnya jarak dasar d_{001} mengalami penurunan menjadi 12,00144 Å. Hal ini mengindikasikan telah terjadinya perubahan struktur klorit akibat adanya aktivasi dengan asam. Hal yang sama juga terjadi pada feldspar dan kalsit yang juga mengalami pergeseran 2θ ke arah kanan dan penurunan jarak dasar d_{001} menjadi 3,65099 Å untuk feldspar dan 3,29860 Å untuk kalsit.

Pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung mengakibatkan terjadinya perubahan hasil analisis difraksi sinar-X. Indikasi keberhasilan proses pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung pada adsorben CC_{a-1} ditandai dengan munculnya puncak pada daerah $2\theta = 7,2000^\circ$ yang lebih terlihat jelas dibandingkan dengan puncak CC_{0-0} dan CC_{a-0} yang terjadi pada mineral montmorillonit. Hal ini mengindikasikan telah terbentuk komposit konvensional dimana komposit yang terbentuk menempel pada permukaan lempung. Komposit yang terbentuk diduga lebih dominan menempel pada mineral kaolinit, kalsit, serta feldspar yang ditandai dengan peningkatan jarak dasar d_{001} masing-masing mineral yaitu berturut-turut 4,39494 Å untuk kaolinit, 3,32044 Å untuk kalsit, dan 4,23892 Å untuk feldspar. Terbentuknya komposit aluminium oksida pada lempung yang menempel pada permukaan lempung menyebabkan semakin menurunnya kristalinitas mineral-mineral kaolinit, kalsit serta feldspar yang ditandai dengan puncak refleksi yang semakin melebar dari mineral-mineral tersebut.

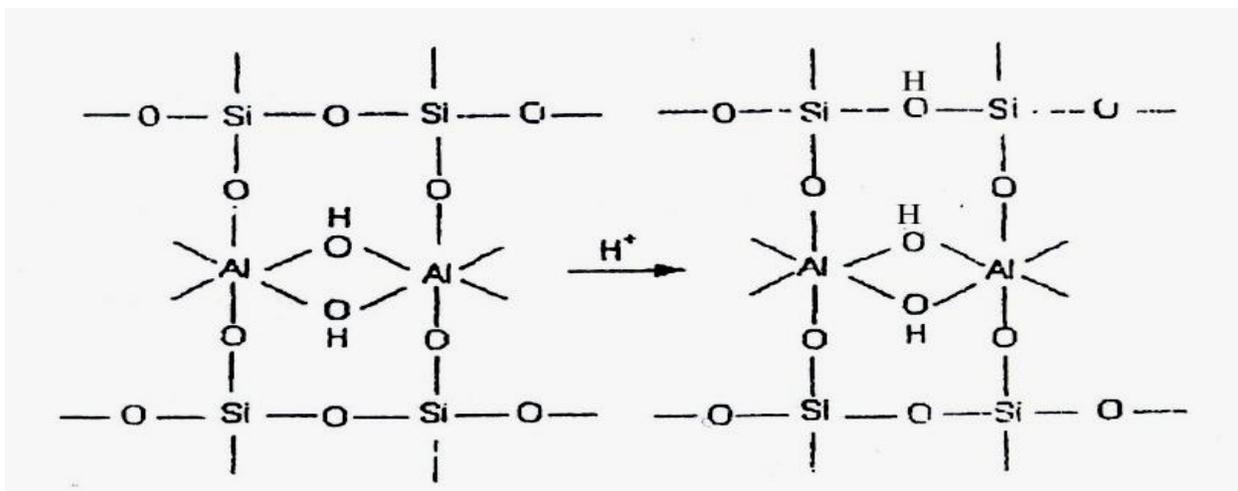
Semakin tinggi rasio Al/lempung, semakin besar oligomer Al_{13} yang terbentuk. Pada rasio Al/lempung = 2, diduga terjadi penyebaran komposit yang tidak merata yang ditandai dengan melebarnya puncak-puncak difraksi masing-masing mineral. Komposit yang terbentuk menempel pada mineral-mineral lain selain mineral kaolinit, kalsit, feldspar, klorit serta montmorillonit yang lebih dominan, yang ditandai dengan semakin banyaknya puncak refleksi yang terbentuk dibandingkan dengan adsorben rasio 1 (CC_{a-1}).

Berbeda halnya dengan puncak refleksi adsorben CC_{a-3} dimana muncul puncak pada daerah $2\theta = 5,3000^\circ$ yang mengindikasikan munculnya mineral montmorillonit yang terkomposit aluminium oksida. Pergeseran 2θ ke arah kiri menandakan keberhasilan pembentukan komposit, dan diduga dengan peningkatan jarak dasar d_{001} menjadi 16,66063 Å telah terbentuk nano komposit yang mana komposit yang terbentuk sudah mulai masuk ke dalam antarlapis mineral montmorillonit. Dengan semakin melebarnya puncak refleksi dan penurunan intensitas refleksi diduga semakin banyaknya komposit yang terbentuk yang menempel pada permukaan mineral lempung. Rendahnya intensitas puncak yang terbentuk disebabkan kemungkinan terbentuknya struktur rumah kartu.

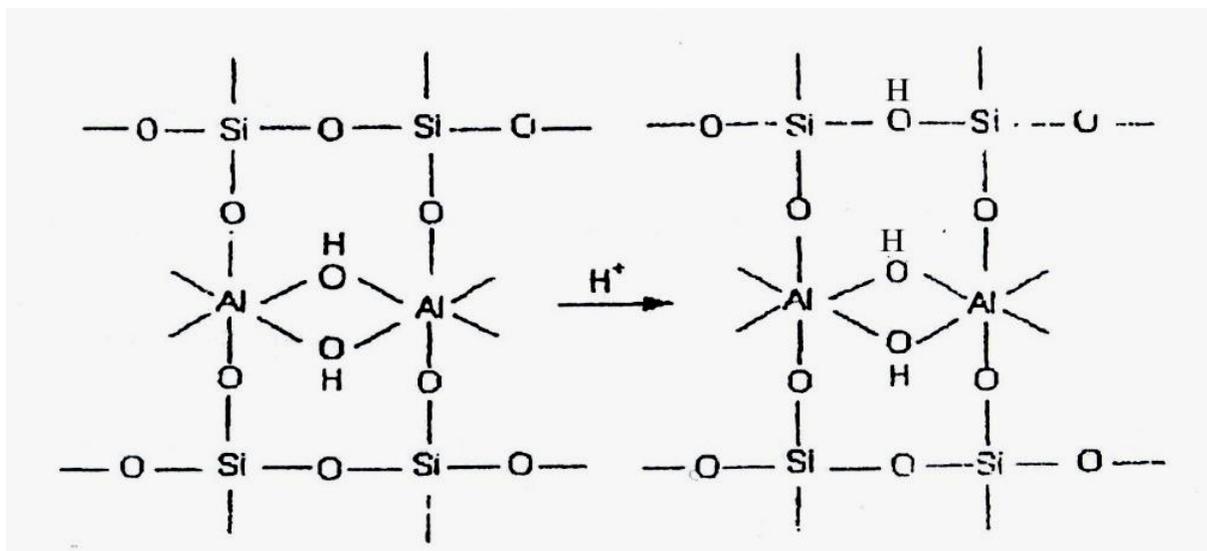
Tabel 1. Data keasaman permukaan dan luas permukaan spesifik masing-masing adsorben

Jenis Adsorben	Luas Permukaan Spesifik (m^2/g)	K_{al} (mmol/g)
CC_{0-0}	27,0307	$0,4665 \pm 0,0312$
CC_{a-0}	28,2351	$0,9743 \pm 0,0179$
CC_{a-1}	29,0040	$1,2957 \pm 0,0182$
CC_{a-2}	29,2074	$1,1609 \pm 0,0181$
CC_{a-3}	29,1513	$1,1193 \pm 0,0313$

Bila dilihat dari keasaman permukaan dan luas permukaan spesifik adsorben pada Tabel 1, adanya aktivasi dan pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung mengakibatkan peningkatan keasaman permukaan dan luas permukaan yang aktif. Hal ini disebabkan adanya aktivasi akan menambah situs asam dalam lempung yang berupa situs asam Bronsted dan situs asam Lewis. Sedangkan pembentukan komposit aluminium oksida akan memberikan sumbangan keasaman permukaan karena terbentuk situs asam Bronsted, situs asam Lewis, serta gabungan situs asam Bronsted dan situs asam Lewis.



Gambar 2. Substitusi Tetrahedral (Leonard dalam Simpen, 2001)



Gambar 3. Substitusi Oktahedral (Leonard dalam Simpen, 2001)

Anderson dan Boudart dalam Simpen (2001), menyatakan lempung montmorillonit dapat menunjukkan karakter keasaman baik asam Bronsted maupun asam Lewis. Situs asam Bronsted terbentuk karena adanya kation H⁺ (dari aktivasi dengan asam sulfat) yang berfungsi menyeimbangkan muatan negatif pada lempung montmorillonit. Selain itu karena telah terjadi substitusi tetrahedral dan oktahedral akibat protonasi pada ikatan Si-O-Si dan Al-O-Al (Gambar 2 dan Gambar 3).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Adanya aktivasi asam dan pembentukan komposit aluminium oksida pada lempung mengakibatkan terjadinya peningkatan keasaman permukaan dan luas permukaan spesifik adsorben.

Saran

Perlu dilakukan penelitian pembentukan komposit dengan logam yang lainnya untuk mendapatkan lempung termodifikasi dengan karakterik yang baik sebagai adsorben.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak I Wayan Sudiarta, S.Si., M.Si. dan Ni Luh Yuni Astari, S.Si. atas saran dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Negara, I. M. S., 2005, Preparasi Komposit Krom Oksida-Montmorillonit dan Aplikasinya untuk Sorpsi Benzena, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Simpen, I. N., 2001, Preparasi dan Karakterisasi Lempung Montmorillonit Teraktivasi Asam Terpillar TiO₂, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Simpen, I., N. dan Wijaya, K., 2002, Pemanfaatan Lempung Bentonit Terpillar Oksida Anorganik sebagai Katalis dan Adsorben, *Chem. Rev.*, 5 (2) : 91-92
- Suarya, P., 2005, Preparasi Lempung Terpillar Besi Oksida dan Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Pengotor Minyak Daun Cengkeh, *Tesis*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

- Suarya, P., 2008, Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh oleh Lempung Teraktivasi Asam, *Jurnal Kimia*, 2 (1) : 19-24
- Susianah, T., 2005, Interkalasi Surfaktan Kationik ke dalam Struktur Antarlapis Lempung Bentonit dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Pengotor Minyak Daun Cengkeh, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Tan, K. H., 1982, *Dasar-dasar Kimia Tanah*, a.b. Goenadi, D. H., Penyunting
- Radjagukguk, B., Cet.5, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Widihati, I. A. G., 2002, Sintesis Lempung Montmorillonit Terpillar Fe_2O_3 dan Kajian Sifat-sifat Kimia Fisiknya, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Wijaya, K., Mudasir, Tahir, I., dan Asean, F., 2003, Inklusi Senyawa p-Nitroanilin ke dalam Pori-pori Montmorillonit Terpillar TiO_2 , *Review Kimia*, 6 (2) : 84-94