



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA ANORGANIK
(Kode : D-10)

ISBN : 978-979-1533-85-0

SINTESIS MCM-41 DAN AI-MCM-41 MELALUI METODE *GREEN SYNTHESIS*: PENGARUH WAKTU *AGING*

Isti Yunita^{1,*}, Sutarno¹ dan Indriana Kartini¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia-55281

*Keperluan korespondensi, tel/fax: 085641220987, email: nitha21_prunt@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan sintesis MCM-41 dan AI-MCM-41 pada temperatur kamar dengan variasi waktu *aging*. MCM-41 disintesis secara langsung pada temperatur kamar menggunakan natrium silikat dan cetiltrimetilammonium bromida (CTAB) dengan variasi waktu *aging* 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. AI-MCM-41 disintesis pada temperatur kamar dengan berbagai variasi rasio mol Si/Al yaitu 10, 25 dan 80. Hasil sintesis juga dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan metode konvensional hidrotermal yang dilakukan pada temperatur 100°C. Karakterisasi dilakukan dengan metode difraksi sinar-X, spektrometri inframerah, dan adsorpsi-desorpsi isotermal N₂. Uji kapasitas adsorpsi MCM-41 dan AI-MCM-41 dilakukan untuk anion fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimal sintesis MCM-41 dengan metode sol-gel pada temperatur kamar diperoleh pada waktu *aging* 48 jam dan AI-MCM-41 dengan rasio molar Si/Al=25. Diameter pori dan luas permukaan berturut-turut untuk MCM-41 adalah 30,554Å dan 484,194 m²/g sedangkan untuk AI-MCM-41 adalah 30,574Å dan 405,954 m²/g. Adsorpsi optimal anion fosfat pada MCM-41 dan AI-MCM-41 hasil sintesis diperoleh pada kondisi pH=5,5 dan waktu kontak=60 menit dengan hasil kapasitas adsorpsi berturut-turut 50,276 mg/g dan 49,950 mg/g.

Kata Kunci: MCM-41, AI-MCM-41, Temperatur Kamar, Adsorpsi, Fosfat

PENDAHULUAN

Sejak *Mobile Corporation* menemukan material mesopori berstruktur nano yang dikenal dengan keluarga M41S pada akhir 1980-an, MCM-41, salah satu keluarga M41S, menjadi material yang paling menarik. Hal ini karena MCM-41 merupakan padatan mesopori yang memiliki struktur teratur dengan rongga seragam dengan susunan heksagonal, luas permukaan yang besar (1000 m²g⁻¹) serta stabilitas termal yang baik [1]

Beberapa peneliti menggunakan metode hidrotermal dan refluks dalam melakukan sintesis silikat/aluminosilikat mesopori MCM-41.

Kekurangan utama dari kedua metode ini adalah penggunaan temperatur yang tinggi pada proses sintesis yang mengakibatkan tingginya biaya produksi. Sintesis MCM-41 ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti surfaktan, waktu dan temperatur sintesis hidrotermal, dan kondisi pH. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi diameter pori, ketebalan dinding pori dan struktur material yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini dikembangkan metode sintesis MCM-41 yang lebih sederhana dengan energi yang lebih rendah, biaya yang lebih murah dan ramah lingkungan yaitu *green synthesis methode* pada temperatur kamar. Hasil sintesis

MCM-41 dan Al MCM-41 selanjutnya digunakan sebagai adsorben untuk anion fosfat.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *Cetyltrimethyl ammonium Bromide* (CTAB, Merck), Natrium Silikat (Na_2SiO_3 , Merrck), Natrium Aluminat ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$, Merck), H_2SO_4 96% p.a, dan akuades.

Sintesis MCM-41 dilakukan pada temperatur kamar dengan menambahkan larutan silikat ke dalam larutan CTAB. Campuran diaduk sampai diperoleh larutan yang homogen pada temperatur kamar ($35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), kemudian diatur pH larutan menjadi 10 dengan penambahan 1 M asam sulfat ditambahkan ke dalam campuran dengan laju alir yang dikendalikan selama 50 menit dengan interval waktu 10 menit dengan pengadukan selama 1 jam. Campuran dibiarkan pada temperatur kamar selama 2 jam di bawah pengadukan. Perbandingan molar akhir reaksi adalah $\text{SiO}_2:1/\text{Na}_2\text{O}:0,25/ \text{CTAB}: 0,25/ \text{H}_2\text{O}:50$. pH akhir gel setelah selesai reaksi sekitar 11. Sampel dibiarkan pada temperatur kamar dengan pengadukan selama 48 jam, kemudian dibiarkan (*aging*) tanpa pengadukan pada berbagai variasi waktu (24 jam, 48 jam dan 72 jam). Sampel padat dipisahkan dengan filtrasi, dicuci dengan air, dan dikeringkan pada 373 K selama 24 jam.

Perlakuan yang sama juga dilakukan sintesis Al-MCM-41 pada temperatur kamar dengan perbandingan molar akhir reaksi $\text{SiO}_2:1/\text{Al}_2\text{O}_3:x/\text{Na}_2\text{O}:0,25/\text{CTAB}:0,25/\text{H}_2\text{O}:50$. Banyaknya logam Al yang ditambahkan divariasi terhadap Si sehingga diperoleh variasi rasio mol Si/Al adalah 10, 25 dan 80.

Pada penelitian ini juga dilakukan sintesis MCM-41 dengan metode hidrotermal.

Perbandingan molar akhir reaksi sama dengan sintesis MCM-41 pada temperatur kamar.

Hasil sintesis MCM-41 dan Al-MCM-41 yang dilakukan pada temperatur kamar dan dengan metode hidrotermal selanjutnya dikarakterisasi menggunakan metoda difraksi Sinar-X "Perkin Elmer 3110" (Shimadzu XRD 6000), Spektrofotometer UV-Vis (Genesys 20) dan Surface Area Analyzer tipe Quantachrome Nova (UIN Yogyakarta). Kedua hasil sintesis dibandingkan kristalinitas dan keteraturan porinya.

Hasil sintesis MCM-41 dan Al MCM-41 digunakan sebagai adsorben untuk anion fosfat. Adsorpsi anion fosfat diawali dengan optimasi pH dan waktu untuk mengetahui pH dan waktu optimum anion dapat diserap. Optimasi pH dilakukan dengan membuat larutan anion fosfat di berbagai pH pada kisaran 2 sampai 7, pH larutan dikondisikan dengan menambahkan larutan buffer 1,2 mL CH_3COOH dalam 100 mL akuades dan 2,7 g CH_3COONa dalam 100 mL.

Optimasi waktu dilakukan dengan variasi 30 menit sampai 150 menit. Adsorpsi dilakukan setelah pH optimum dan waktu optimum diketahui, variasi konsentrasi dibuat 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 600 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 700 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (pada pH dan waktu optimum) dengan tujuan untuk mencari kapasitas adsorpsi dan energy adsorpsi dari material hasil sintesis. Konsentrasi supernatant fosfat diukur dengan metode molibdenum-asam askorbat menggunakan spektrofotometer UV-VIS (Genesys 20).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu *Aging*

Pola difraksi sinar-X padatan hasil sintesis pada temperatur kamar dengan berbagai variasi

waktu *aging* disajikan dalam Gambar 1. Perbedaan keteraturan pori dan kristalinitas sampel MCM-41 dengan waktu *aging* 24 jam, 48 jam dan 72 jam dapat diamati dari pergeseran sudut 2θ dan perbedaan intensitas puncak.

Berdasarkan pada pola difraksi sinar-X pada Gambar 1, terlihat munculnya puncak-puncak pada sudut 2θ kurang dari 10° yang merupakan ciri khas MCM-41 dan memiliki kesamaan dengan hasil penelitian sebelumnya [2,3]. Puncak-puncak tajam terlihat semakin meningkat dengan meningkatnya waktu *aging* (24 jam dan 48 jam), namun peningkatan waktu *aging* selanjutnya (72 jam) menurunkan intensitas puncak. Adanya 3 puncak karakteristik MCM-41 dengan waktu *aging* 24 jam, 48 jam dan 72 jam cukup untuk mengindikasikan bahwa struktur MCM-41 telah terbentuk. Hasil optimal teramati pada waktu *aging* 48 jam yang mengindikasikan keteraturan struktur MCM-41 [1]. Data struktural padatan hasil sintesis disajikan dalam Tabel 1.

Pengaruh Rasio Si/Al

Konsentrasi Si mempengaruhi sintesis material mesopori MCM-41, yaitu dalam distribusi spesies silikat yang berinteraksi dengan surfaktan yang digunakan [4]. Adanya ion logam pada struktur MCM-41 tidak hanya akan meningkatkan keasaman dari material ini, dimana ion logam tersebut akan menjadi sisi asam Lewis dan berperan sebagai sisi aktif pada proses katalisis namun juga perubahan pada rasio Si/Al MCM-41 akan mengubah sifat-sifat fisiknya (ukuran pori, volume pori dan luas permukaan), dan juga mengubah interaksi antar bahan pendukung [5]. Sisi asam Lewis ini akan meningkat, jika dalam struktur MCM-41 dimasukkan logam transisi. Penambahan aluminium juga memiliki peran penting karena dapat menambah sifat kimia dari material MCM-41. Hal ini dikarenakan adanya substitusi atom aluminium tetrahedral ke dalam kerangka silikat membutuhkan kerangka ekstra

dengan kation penstabil, dan spesies kationik ini dapat memberi perilaku adsorpsi dan katalitik yang diinginkan untuk aluminosilikat berpori.

Pola difraksi sinar-X padatan hasil sintesis pada berbagai variasi rasio mol Si/Al disajikan pada Gambar 2. Bila dibandingkan dengan pola difraksi sinar-X yang dihasilkan peneliti sebelumnya [6] maka hasil sintesis mempunyai kemiripan sehingga dapat dikatakan bahwa pola difraksi sinar-X hasil sintesis adalah Al-MCM-41.

Ketidakteraturan puncak pada Al-MCM-41 dengan rasio mol Si/Al = 10 dibandingkan dengan Al-MCM-41 dengan rasio mol Si/Al = 25, mencerminkan struktur mesopori yang terbentuk tidak memiliki karakteristik heksagonal. Intensitas puncak yang mengalami penurunan secara signifikan terjadi pada puncak pertama. Munculnya puncak tajam mengindikasikan telah tercapainya keteraturan struktur dan struktur yang teratur tersebut tetap bertahan setelah penambahan ion logam, sedangkan adanya penurunan intensitas puncak menunjukkan bahwa keteraturan struktur menurun dengan masuknya ion aluminium karena terbentuknya spesi oksida logam non kerangka di dalam pori saat kalsinasi [1]. Struktur amorf mempunyai karakter penataan satuan kerangka struktur yang relatif acak. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa padatan hasil sintesis dengan rasio mol Si/Al = 10 mempunyai kristalinitas yang masih rendah. Ukuran partikel oksida logam Al dan panjang ikatan antara logam kation dan molekul oksigen akan mempengaruhi ukuran kristal MCM-41, hal ini dapat dilihat dari adanya pergeseran nilai $d_{[100]}$ ke arah yang lebih besar.

Al-MCM-41 dengan rasio mol Si/Al = 80 memiliki intensitas puncak yang lebih tinggi daripada rasio mol Si/Al = 25, mencerminkan struktur yang terbentuk memiliki kristalinitas yang lebih baik, namun memiliki keteraturan pori yang kurang seragam. Fenomena ini berkaitan dengan

jumlah ion aluminium dalam MCM-41. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan intensitas puncak dan pergeseran puncak juga berkaitan dengan spesies logam yang ditambahkan [7,4,8]).

Gambar 3 menunjukkan perbandingan pola difraksi sinar-X hasil sintesis MCM-41 pada temperatur kamar dengan hasil sintesis MCM-41 dengan metode hidrotermal. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa MCM-41 hasil sintesis pada temperatur kamar memiliki kerangka heksagonal namun kristalinitas dan keseragaman pori masih rendah. Hal ini ditandai dengan indeks parameter kisi yang belum teratur jika dibandingkan dengan MCM-41 metode hidrotermal.

Spektra inframerah MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis pada temperatur kamar disajikan pada Gambar 4. Al-MCM-41 mempunyai pita-pita serapan pada bilangan gelombang hampir sama dengan MCM-41, yang mengindikasikan bahwa adanya ion aluminium dalam gel mensubstitusi silikon dalam pembentukan kerangka MCM-41 pada sintesis Al-MCM-41.

Pita serapan sekitar $964,41\text{ cm}^{-1}$ (Gambar 4) merupakan pita serapan vibrasi ulur dari gugus Si-OH pada posisi defek juga merupakan serapan vibrasi anti simetrik Si-O-M (M adalah ion-ion logam). Puncak karakteristik sekitar $1219,01\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur asimetri eksternal dari Si-O. Vibrasi tekuk dari gugus $-\text{OH}_2$ ditunjukkan pada puncak serapan $1651,07\text{ cm}^{-1}$ dan berhubungan dengan sifat adsorpsi air (sifat hidrofilik) dari material. Selain itu, puncak pita yang melebar pada bilangan gelombang $3425,58\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H dari air.

Karakteristik puncak serapan dari struktur MCM-41 pada bilangan gelombang $1064,28\text{ cm}^{-1}$ bergeser ke bilangan gelombang lebih rendah ($1056,99\text{ cm}^{-1}$) yang mengindikasikan masuknya aluminium dalam kisi kerangka MCM-41. Pita serapan juga bergeser ke bilangan gelombang yang lebih rendah dengan masuknya logam.

Pergeseran ini mungkin karena peningkatan jarak Si-O di dinding pori yang disebabkan oleh penggantian silikon dengan ion logam yang memiliki ukuran lebih besar [11]. Pita yang teramati juga tergantung pada perubahan jari-jari ionik, substitusi Si^{4+} ($1,61\text{\AA}$) dengan ion logam Al^{3+} ($1,69\text{\AA}$) yang memiliki jari-jari lebih besar.

Pola adsorpsi-desorpsi isothermal gas N_2 pada MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis pada temperatur kamar disajikan pada Gambar 5. Karakterisasi ini bertujuan untuk menentukan luas permukaan, volume pori dan diameter pori MCM-41 dan Al-MCM-41 sintesis. Penentuan ini didasarkan pada penyerapan gas N_2 pada permukaan padatan berpori. Kurva adsorpsi isothermal gas N_2 dari kedua material tersebut diklasifikasikan dalam tipe IV sesuai dengan ketentuan IUPAC, dengan pola kurva histerisis yang menunjukkan bahwa adsorpsi gas N_2 terjadi pada adsorben mesopori

Adanya aluminium memberikan pengaruh yang sangat besar pada sifat tekstural material yang akan mengarah pada perubahan bahan mesopori tersebut (Tabel 2). Penurunan luas permukaan pada Al-MCM-41 sintesis diperkirakan berasal dari ion logam Al yang terimobilisasi dengan baik pada struktur MCM-41 sintesis sebagai akibat sintesis secara langsung. Logam Al yang terimobilisasi pada kerangka MCM-41 kaya silika akan mengakibatkan perubahan ikatan yang dapat merubah struktur dengan penataan atom-atom yang kurang teratur sehingga luas permukaan semakin turun. Diameter pori yang meningkat hadala akibat dari masuknya logam Al dengan ukuran yang lebih besar pada MCM-41.

Uji Kapasitas Adsorpsi Anion Fosfat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak

Kemampuan adsorpsi MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis dapat dilihat dari kemampuan adsorpsinya pada anion fosfat. Gambar 6 menunjukkan pengaruh pH terhadap

proses adsorpsi anion fosfat oleh MCM-41 dan Al-MCM-41. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi anion fosfat menurun dengan semakin tingginya pH. Pada pH 3-5 terlihat kenaikan kapasitas adsorpsi anion fosfat yang sangat signifikan, sedangkan pada pH 6-7 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi pada anion fosfat seiring meningkatnya pH dari larutan.

Anion fosfat lebih dapat diserap oleh permukaan adsorben dalam bentuk H_2PO_4^- , bukan sebagai HPO_4^{2-} . Konsentrasi ion divalen (HPO_4^{2-}) akan meningkat 10 kali lipat pada peningkatan pH 2-7 [3]. Perubahan spesies ini akibat dari penurunan potensial elektrostatik [9].

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi terhadap anion fosfat pada kondisi pH yang sama oleh Al-MCM-41 lebih rendah daripada MCM-41.

Waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi digunakan sebagai ukuran kecepatan laju reaksi. Pada Gambar 7, adsorpsi anion fosfat terjadi secara cepat pada menit-menit awal kontak dan meningkat dengan semakin bertambahnya waktu kontak dan kemudian menjadi konstan. Hal ini berhubungan dengan reaktivitas anion fosfat dan interaksi yang terjadi antara larutan anion fosfat dengan adsorben.

Pada waktu kontak 30 menit terjadi peningkatan adsorpsi yang signifikan. Hal ini karena pada awal reaksi gugus aktif yang tersedia pada permukaan adsorben masih banyak yang belum terisi atau kondisinya belum jenuh sehingga memudahkan anion fosfat berinteraksi dengan adsorben. Pada waktu kontak 60-150 menit, jumlah anion fosfat yang teradsorpsi relatif tidak mengalami penambahan jumlah yang berarti, karena gugus aktif positif dari surfaktan sudah terisi oleh anion fosfat sehingga kapasitas adsorpsi akan menurun.

Penentuan Adsorpsi Isoterm: Metode

Langmuir dan Freundlich

Konsentrasi pada saat setimbang dimasukkan dalam persamaan Langmuir dan Freundlich untuk menentukan karakteristik proses adsorpsi. Grafik untuk menentukan isotermal Langmuir dan Freundlich MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

Berdasarkan Gambar 8 dan 9 dapat dilihat bahwa MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis lebih signifikan menggunakan isotermal Langmuir. Pada isotermal Langmuir, adsorpsi terbatas pada lapisan tunggal dari molekul-molekul terlarut adsorbat tidak bebas berpindah ke permukaan. Persamaan Langmuir ini didasarkan oleh kesetimbangan antara kondensasi dan evaporasi (penguapan) dari molekul yang terserap dengan mempertimbangkan lapisan jerap monokuler [10].

Dari 3 terlihat bahwa energi adsorpsi anion fosfat oleh MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis kurang dari 20,92 kJ/mol, sehingga adsorpsi yang terjadi termasuk adsorpsi fisika. Suatu adsorpsi dikategorikan sebagai adsorpsi fisika (fisisorpsi) jika energi adsorpsinya kurang dari 20,92 kJ/mol, sedangkan pada adsorpsi kimia (kemisorpsi) energi adsorpsinya lebih dari 20,92 kJ/mol [1].

Kapasitas adsorpsi MCM-41 (50,2765 mg/g) lebih besar daripada kapasitas adsorpsi Al-MCM-41 (49,9500 mg/g). Hal ini membuktikan bahwa adsorpsi anion fosfat tidak hanya ditentukan oleh parameter diameter pori, luas permukaan maupun gugus aktif negatif pada permukaan material. Perbedaan kapasitas adsorpsi antara MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis dapat disebabkan karena perbedaan muatan positif misel surfaktan dalam MCM-41 yang diseimbangkan oleh ion bromida. Pada Al-MCM-41, muatan positif misel surfaktan diseimbangkan oleh silika dan alumina, sehingga jumlah ion bromida pada misel lebih sedikit jika dibandingkan MCM-41 hasil sintesis, menyebabkan kemampuan adsorpsi Al-MCM-41

akan lebih rendah dibandingkn kemampuan adsorpsi MCM-41 hasil sintesis.

KESIMPULAN

Sintesis MCM-41 dapat dilakukan dengan metode temperatur kamar, dengan waktu *aging* optimal 24 jam. Al-MCM-41 juga dapat disintesis pada temperatur kamar dengan variasi molar Si/Al maksimum 25. Kemampuan adsorpsi MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis dapat ditunjukkan pada uji kapasitas adsorpsi anion fosfat. Kemampuan adsorpsi anion fosfat pada MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis terjadi optimal pada pH asam (sekitar pH=5).

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Beck, J.C., Roth, W.J., Leonowicz, M.E., Kresge., *A New Family Of Mesoporous Molecular Sieves Prepared With Liquid Crystal Templates*, J. Am. Chem. Soc., 114, 10834.
- [2] Karthikeyan, K Anbalagan And N Muthulakshmi Andal, 2004, *Adsorption Dynamics And Equilibrium Studies Of Zn (II) Onto Chitosan*, J. Chem. Sci., Vol. 116, No. 2, Pp. 119–127.
- [3] Endud, Hadi Nur and Halimatun Hamdan, 1998, *Probing The Active Sites Of Aluminated Mesoporous Molecular Sieve MCM-41 By Secondary Synthesis In The Conversion Of Cyclohexanol*, J. Physc Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 117
- [4] Chen C Y, Ding Guozhong, Chen Haiying and Li Quanzhi, 1996, *Formation At Low Surfactant Concentrations And Characterization Of Mesoporous MCM-41*, J. Chin Chem Soc Vol 40 No. 3
- [5] Hui C.Y.H. Chao, *Synthesis Of MCM-41 From Coal Fly Ash By A Green Approach: Influence Of Synthesis pH*, J Hazd Mat B137 (2006) 1135–1148
- [6] Zhao G. Q. Lu, A. K. Whittaker, G. J. Millar,§ and H. Y. Zhu, 1996, *Comprehensive Study of Surface Chemistry of MCM-41 Usin g²⁹Si CP/MAS NMR, FTIR, Pyridine-TPD, and TGA*, J. Phys. Chem. B 101, 6525-6531
- [7] Xu, Liansheng Li, Xinsheng Liu, and Ruren Xu*, 2002, *Incorporation of Rare-Earth Complex Eu(TTA)₄C₅H₅NC₁₆H₃₃ into Surface-Modified Si-MCM-41 and Its Photophysical Properties*, J Chem. Mater. 2002, 14, 549-555
- [8] Wei Xu, Qunhui Luo, Hsin Wang, Lynn C. Francesconi, Ruth E. Stark, and Daniel L. Akins, 2003, *Polyoxoanion Occluded within Modified MCM-41: Spectroscopy and Structure*, J. Phys. Chem. B 2003, 107, 497-501
- [9] Shanon C.T. Prewitt, 1970, *Revised Values Of Effective Ionic Radii*, Acta Cryst. B 26. 1046–1048
- [10] Selvaraj M, Byong Hoo Kim, and Tai Gyu Lee , 2005, *FTIR Studies on Selected Mesoporous Metallosilicate Molecular Sieves*, J Chem Lett Vol.34, No.9
- [11] Adamson, A.W., (1990), *Physical Chemistry of Surfaces*, John Wiley & Sons, Inc, New York

LAMPIRAN

Tabel 1 Data struktural sampel MCM-41 hasil sintesis dengan variasi waktu aging

Waktu aging (jam)	Intensitas total (counts)	$d_{100}(\text{Å})$	$a(\text{Å})$
24	1469	40,84	47,16
48	2493	36,25	41,83
72	908	36,67	42,34

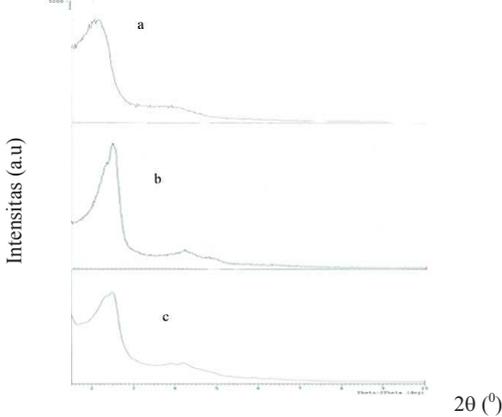
Tabel 2 Parameter adsorpsi isothermal N_2 sampel MCM-41 dan Al-MCM-41 hasil sintesis

Karakteristik	MCM-41	Al MCM-41
a_0 (Å)	41,830	41,869
Luas Permukaan (m ² /g)	484,194	405,954
Diameter pori (Å)	30,554	30,574
Wall thickness (Å)	11,276	11,295

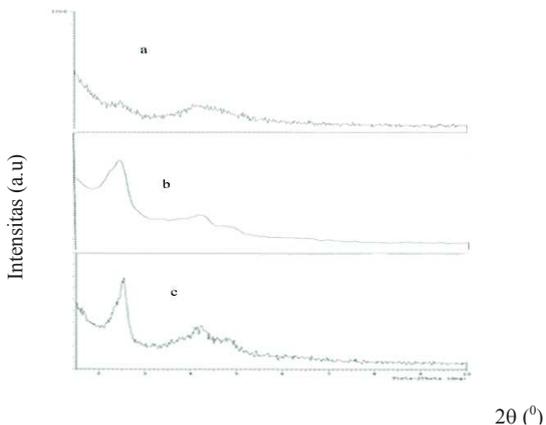
Tabel 3 Parameter adsorpsi isothermal Langmuir dan Freundlich

	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich				
	q _{max} (mg/g)	b (L/mg)	R ²	EA (kJ/mg)	K _f (mg/g)	n	R ²	EA (kJ/mg)
MC M-41	50,276	37,0 x 10 ⁻³	0,99	8,304	18,323	6,1	0,96	7,326
Al MC M-41	49,950	22,3 x 10 ⁻³	0,98	9,578	11,376	4,2	0,69	6,125

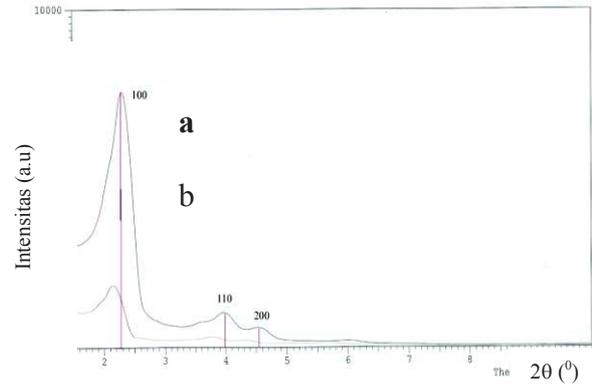
Hasil analisis spektra XRD



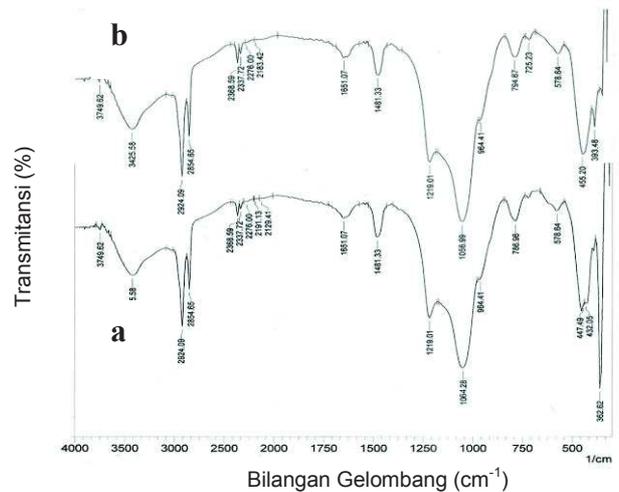
Gambar 1 Pola difraksi sinar-X sampel MCM-41 pada waktu aging (a) 24 jam, (b) 48 jam, dan (c) 72 jam



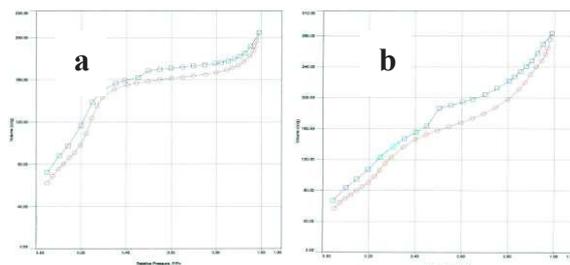
Gambar 2 Pola difraksi sinar-X sampel Al-MCM-41 pada variasi Si/Al (a) 10, (b) 25, dan (c) 80



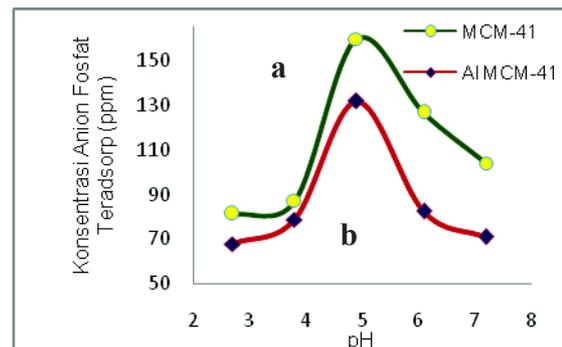
Gambar 3 Pola difraksi sinar-X sampel MCM-41 dengan metode sintesis (a) hidrotermal dan (b) temperatur kamar



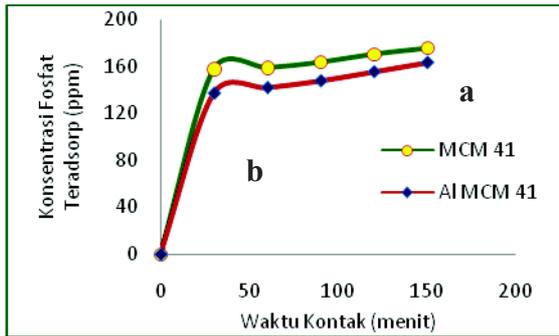
Gambar 4 Spektra inframerah sampel (a) MCM-41 dan (b) Al-MCM-41



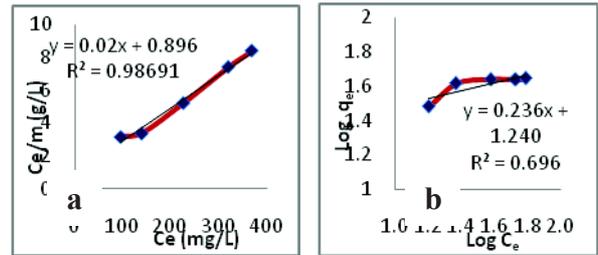
Gambar 5 Kurva adsorpsi-desorpsi isothermal N_2 sampel: (a) MCM-41 dan (b) Al-MCM-41



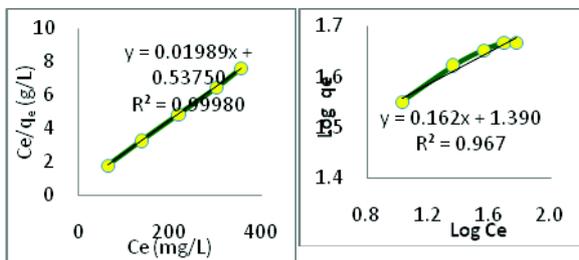
Gambar 6 Kurva pH versus kapasitas adsorpsi anion fosfat pada sampel: (a) MCM-41 dan (b) Al-MCM-41



Gambar 7 Kurva waktu kontak (menit) vs konsentrasi fosfat teradsorpsi pada sampel: (a) MCM-41 dan (b) Al-MCM-41



Gambar 9 Kurva adsorpsi isotermal anion fosfat pada sampel Al-MCM-41: (a) model Langmuir dan (b) model Freundlich



Gambar 8 Kurva adsorpsi isotermal anion fosfat pada sampel MCM-41: (a) model Langmuir dan (b) model Freundlich