

Perkembangan sintesis MCM-41 berbasis sumber daya alam dan aplikasinya: sebuah telaah pustaka

Suci Sukma Taruna Asral, Morina Adfa dan Salprima YudhaS*

Didaftarkan: [15 April 2022] Direvisi: [25 April 2022] Terbit: [30 April 2022]

ABSTRAK: perkembangan sintesis dan aplikasi dari MCM-41 memberikan dampak yang positif di berbagai bidang di dunia. Komponen penting dalam sintesis ini adalah sumber silika. Di Indonesia banyak varietas tumbuhan yang dapat dijadikan sumber silika. Dengan beragamnya sumber tersebut maka diharapkan agar dimasa depan ditemukan alternatif silika bahan alam selain yang sudah ada saat ini. Telaah pustaka ini dilakukan dengan mengumpulkan, memilah, dan menelaah berbagai pustaka dalam Bahasa Indonesia dan/atau Melayu terkait perkembangan, sintesis dan aplikasi dari MCM-41. Dalam melakukan sintesis terdapat dua jenis, yaitu sintesis konvensional dan sintesis tak langsung. Analisis menggunakan beberapa instrumentasi seperti difraksi sinar-X, *Fourier Transform Inframerah*, dan *scanning electron microscope* dalam menentukan karakteristik padatan MCM-41 yang dihasilkan. Adanya artikel telaah ini diharapkan dapat menjadi gambaran dan rujukan ilmiah bagi pengembangan material sejenis di masa datang.

PENDAHULUAN

Zeolit, silika dan karbon aktif merupakan material berpori yang kompleks dan ukuran yang heterogen mempunyai peran yang penting dalam ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Berbagai aplikasi penting dalam proses kimia memanfaatkan material ini misalnya sebagai katalis dan adsorben yang selektif dalam proses pemisahan. Senyawa MCM yaitu *Mobile Crystalline Materials* adalah jenis material baru yang mempunyai struktur mesopori dan diameter yang seragam [1]. MCM-41, MCM-48 dan SBA-15 adalah beberapa contoh silika mesopori yang telah banyak dikenal dan jenis ini berkarakteristik mempunyai luas permukaan yang besar [2]. Terdapat beberapa metode sintesis MCM-41 yang dapat digunakan baik sintesis konvensional hidrotermal maupun sintesis tidak langsung. Selain itu MCM-41 memiliki pemanfaatan yang banyak di berbagai bidang sebagai katalis maupun adsorben. Tujuan dari artikel penelaahan ini adalah untuk melakukan kajian terhadap hasil-hasil penelitian terkait dengan sintesis MCM-41 berbasis sumber daya alam yang telah dilaporkan dalam jurnal-jurnal berbahasa Indonesia dan/atau melayu. Hasil telaah ini diharapkan dapat memberikan gambaran perkembangan penelitian pada salah satu jenis komposit ini dan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi pengembangan material sejenis di masa datang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

MCM-41 saat ini telah menarik minat banyak peneliti karena dapat digunakan pada banyak aplikasi. Sintesis MCM-41 pernah dilakukan menggunakan kombinasi sol-gel dengan sonokimia dan hasil karakterisasinya menunjukkan terdapat perbedaan antara MCM-41 sebelum dan setelah kalsinasi. MCM-41 setelah kalsinasi memiliki intensitas yang lebih tinggi. Nilai 2θ yang diperoleh setelah kalsinasi lebih besar daripada sebelum kalsinasi. Hal

tersebut menunjukkan nilai parameter kisi yang lebih kecil. Sintesis berhasil dilakukan dengan mencocokkan puncak dan nilai *spacing* yang diperoleh dengan data JCPDF No.49-1712[3].

MCM-41 dapat disintesis dalam berbagai cara. Salah satunya adalah persiapan template atau cetakan. Mekanisme tersebut sering disebut *liquid crystal templating mechanism*, yang mana molekul surfaktan bertindak sebagai template. Pada saat sintesis menggunakan metode hidrotermal, maka yang terjadi adalah kombinasi proses sol-gel (proses perubahan fase larutan menjadi padatan, meliputi presipitasi, kristalisasi, keadaan superkritis antisolven, perakitan supramolekul dan kerusakan struktur) dan hidrotermal. Selain itu sintesis dapat dilakukan secara tidak langsung menggunakan surfaktan dan larutan silika. Metode ini telah digunakan untuk mensintesis FSM-16 dan MCM-41, ternyata karakteristik ukuran pori dan luas permukaan keduanya sama namun mekanisme pembentukannya berbeda dibuktikan dengan adanya pembentukan fase perantara interkalasi antara silika-surfaktan [4].

Sampel mesopori MCM-41 disintesis dari natrium silika sebagai sumber silika dan *cetyltrimethylammonium bromida* (CTAB) sebagai agen pengarah struktur. Beberapa sumber silika antara lain dari abu layang batu bara [5-6], abu sekam padi [7], dan lempung silika [8] sebagai pengganti sumber silika komersial serta salah satu upaya *green synthesis*. Untuk menemukan sumber silika baru yang lebih ekonomis dan melimpah, maka dilakukan beberapa penelitian. Fokus utama pada metode yang digunakan adalah untuk memanfaatkan limbah sebagai upaya untuk menekan anggaran sintesis MCM-41.

Sintesis MCM-41 terjadi antara sumber silika *tetraetil ortosilikat* (TEOS), surfaktan *cetyltrimethylammonium bromida* (CTAB), NaOH untuk membentuk keadaan basa dan air. Campuran tersebut bereaksi dalam reaktor (*bomb hydrothermal*) yang telah dioven pada suhu 120°C dan tekanan *autogeneous* selama 4 hari. Struktur MCM-41 yang diperoleh memiliki struktur rentang panjang (heksagonal) dan rentang pendek (material amorf). Data XRD mengungkapkan bukti struktur heksagonal pada bidang 100 dan 200 setelah pemanasan suhu tinggi. Pada struktur lapis tidak akan ditemukan bidang tersebut setelah pemanasan suhu tinggi seperti pada material sebelum [9].

Pada sintesis menggunakan metode hidrotermal, surfaktan CTAB dalam proses sintesis bertindak sebagai pengarah pembentukan struktur heksagonal material mesopori MCM-41 berdasarkan bentuk misel surfaktan. Perubahan bentuk misel dari bentuk sferis menjadi bentuk silindris merupakan akibat dari interaksi surfaktan. Proses pemanasan awal bertujuan untuk meningkatkan kelarutan dari CTAB sehingga semakin mudah beragregasi membentuk misel silindris pada proses pendinginan selanjutnya sebagai cetakan material mesopori MCM-41 dengan struktur heksagonal. Reaktor yang digunakan saat proses hidrotermal harus tertutup rapat agar laju penguapan dan laju kondensasi yang terjadi dalam reaktor menjadi seimbang dan mesopori MCM-41 bisa terbentuk. Proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan surfaktan CTAB yang berperan sebagai cetakan dan pada suhu tinggi surfaktan tersebut mengalami proses pembakaran. Melalui difraktogram data menunjukkan pola XRD material MCM-41 mempunyai ciri khas adanya tiga sampai lima puncak yang tampak pada sudut 2θ antara 2-5° yang diindekskan pada bidang (100), (110), (200) dan (210). Pada sudut 2θ muncul puncak-puncak kecil dan dapat dinyatakan bidang kristal berbentuk heksagonal serta menjadi bukti padatan yang dihasilkan

merupakan MCM-41. Hasil sintesis ini dapat diaplikasikan menjadi katalis Ni-MCM-41 yang dapat meningkatkan keasaman material tersebut sehingga meningkatkan aktivitas katalitiknya sebagai katalis dalam proses perengkahan. MCM-41 yang dibuat menjadi Ni-MCM-41 menggunakan metode pertukaran logam Ni [10].

Pada sintesis MCM-41 menggunakan abu layang batubara yang diambil dari PT. IPMOMI Paiton, metode yang digunakan adalah sol-gel dan hidrotermal. Abu layang batubara Paiton termasuk abu layang kelas C dengan CaO lebih dari 15% dan sebagai pengganti sumber silika komersial. Pola difraksi sinar-X (XRD) dari sampel MCM-41 menunjukkan adanya puncak karakteristik MCM-41 dengan variasi waktu hidrotermal 96, 144, 192 dan 240 jam terjadi pada $2\theta = 1,5-6,01^\circ$. Puncak tajam pada $1,5-2,3^\circ$ menunjukkan indikasi terbentuknya struktur MCM-41 yang merupakan pencerminan bidang (100). Sedangkan tiga puncak lainnya merefleksikan bidang (110) pada $2\theta = 3,6-3,95^\circ$, bidang (200) pada $2\theta = 4,35-4,6^\circ$ dan (210) pada $2\theta = 5,96-6,01^\circ$. Adanya keempat puncak tersebut menandakan struktur pori heksagonal pada MCM-41. Data tersebut juga menunjukkan bahwa sintesis MCM-41 dengan waktu hidrotermal 96 jam memiliki intensitas puncak paling tinggi dibandingkan dengan 144, 192 dan 240 jam. Data FTIR pada hasil sintesis MCM-41 hampir memiliki kesamaan dari keempat variasi waktu hidrotermal tersebut. Terdapat pita absorpsi disekitar $1082-1085\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan pita vibrasi ulur Si-O asimetris dari kerangka SiO_4 . Adanya pergeseran pita absorpsi disekitar $1082-1085\text{ cm}^{-1}$ setelah kalsinasi mengindikasikan terjadinya kontraksi dari ikatan Si-O yang terbentuk selama kalsinasi. Pada pita absorpsi $464-470\text{ cm}^{-1}$ merupakan pita vibrasi tekuk dari permukaan gugus Si-O. Dengan adanya daerah tersebut, maka atom O akan berikatan dengan H yang merupakan serapan spesifik dari MCM-41. Selain itu data SEM memperlihatkan serbuk hasil sintesis berupa kumpulan butiran dengan bentuk seragam sekitar 200 nm [11].

Banyaknya penelitian perkembangan sintesis MCM-41 tidak terlepas dari manfaat material tersebut yang sangat beragam. Selain dijadikan katalis untuk peregrakan [10,12], MCM-41 juga diaplikasikan sebagai penyerap logam Pb(II) [13] dengan kondisi terbaik untuk menyerap ion logam Pb(II) adalah dengan menggunakan bobot penyerap 0,05 g dan waktu kontak selama 120 menit. Pola penyerapan Pb(II) menggunakan MCM-41 mengikuti model isoterm Langmuir. MCM-41 juga digunakan sebagai adsorben limbah cair tapioka menggunakan isotermal Langmuir dan Freundlich. Waktu kontak optimum pada saat adsorpsi yaitu saat menit ke 70 dengan kapasitas maksimum adsorpsi 15,92 mg/g, hasil tersebut sesuai dengan penyerapan limbah cair tapioka [14].

MCM-41 dapat dimanfaatkan sebagai *drug carrier* pada aplikasi *controlled drug delivery system*. Sistem pengantaran obat (*Drug Delivery System* atau DDS) merupakan suatu sistem untuk mengirimkan obat yang telah digunakan secara klinis dan pra-klinis dalam pengobatan suatu penyakit yang dihantarkan melalui asupan oral atau injeksi ke pembuluh darah. Nanopartikel silika mesopori salah satu alternatif pembawa obat yang prospektif karena bentuk mesoporinya yang khas layaknya sarang lebah yang memungkinkan fungsionalitas permukaan sehingga pelepasan obat yang terkontrol sesuai target dari berbagai molekul obat dapat tercapai [15].

Banyaknya kelebihan sifat fisik dan kimia MCM-41 menyebabkan penggunaannya meningkat tajam. Ukuran molekul yang besar dan memiliki kestabilan termal yang tinggi, memungkinkan untuk diaplikasikan dalam proses pengolahan sumber minyak bumi baik

dalam proses *cracking*, desulfurisasi maupun pemurnian. Pengembangan MCM-41 dari bahan alam perlu dilakukan eksplorasi dan kreativitas yang lebih banyak dengan ketersediaan yang ada [3].

KESIMPULAN

MCM-41 yang baik dikenal untuk aplikasi katalitik dengan stabilitas termal dan mekanik yang baik, struktur berpori seragam dan luas permukaan yang tinggi telah menarik minat peneliti sebagai media penyimpanan hidrogen, katalis, adsorpsi dan aplikasi lainnya. Dua jenis metode yang dapat dilakukan untuk sintesis MCM-41 yaitu metode konvensional hidrotermal (*sol-gel* dan hidrotermal) dan metode tidak langsung. Selain itu pengembangan dan eksplorasi MCM-41 menggunakan bahan alam harus digiatkan, mengingat Indonesia sebagai negara kaya sumber daya alam baik tumbuhan maupun hewan. Pengembangan tersebut baik pada sumber silika yang digunakan ataupun metode sintesis yang digunakan.

PROSEDUR PENELITIAN

Telaah pustaka ini melalui beberapa tahapan yaitu (1) mengumpulkan berbagai pustaka dalam bahasa Indonesia dan/atau Melayu terkait dengan sintesis MCM-41 baik yang berbasis sumber daya alam ataupun sintetis, (2) pemilahan pustaka-pustaka penting terkait dengan topik yang telah ditentukan, (3) menelaah isi dari pustaka-pustaka pilihan tersebut untuk mendapatkan gambaran perkembangan terkini terkait dengan sintesis MCM-41 baik dari sisi kelebihan, kekurangan maupun prospek yang mungkin dapat dikembangkan pada masa yang akan datang.

DEKLARASI

Para Penulis tidak memiliki konflik dalam hal penulisan dan pendanaan.

PERSANTUNAN

SSTA sangat berterima kasih kepada Program Studi Magister (S2) Kimia FMIPA Universitas Bengkulu dalam rangka menempuh pendidikan magister pada bidang ilmu Kimia, dan para penulis berterima kasih atas pendanaan yang diberikan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui skema Penelitian Tesis Magister. Telaah pustaka ini juga menjadi bagian dari luaran tambahan yang diperoleh dari kegiatan penelitian tersebut.

INFORMASI TENTANG PENULIS

Penulis Rujukan:

Salprima Yudha S
Laboratorium Kimia Anorganik Fisik
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

Pusat Riset Produk Bahan Alam dan Material Fungsional
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Bengkulu

Para Penulis

Suci Sukma Taruna Asral
Program Studi Magister (S2) Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu; jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu

Morina Adfa
Laboratorium Kimia Organik
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

Pusat Riset Produk Bahan Alam dan Material Fungsional
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Bengkulu

■ PUSTAKA

- [1] Wibowo, D.; Yuanita, I.; Anggorowati, A.A.; Ismadji, S. Sintesa Nanoporus Material MCM-41. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* **2004**, *3* (2), 105–110.
- [2] Admi, A.; Ramadhani, F.; Syukri, S. Sintesis dan Karakterisasi Enkapsulat Katalis Nikel (II) pada Silika Mesopori Modifikasi. *Jurnal Riset Kimia* **2020**, *11* (2), 89–96. DOI: 10.25077/jrk.v11i2.356
- [3] Hasanah, N.; Sutarno.; Kunarti, E.S. Kajian Karakteristik MCM-41 yang Dimodifikasi dengan Logam Zn secara Direct Synthesis. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidik Kimia)* **2018**, *3* (3), 183–192.
- [4] Yunita, I. Prosiding Seminar Nasional Kimia 2013 “Peran Kimia dan Pendidikan Kimia dalam Rangka Mencapai Kemandirian Bangsa”, Ruang Seminar FMIPA UNY, Indonesia, 16 November 2013; Yogyakarta, Indonesia.
- [5] Caroles, J.D.S. Ekstraksi Silika yang Terkandung Dalam Limbah Abu Terbang Batu Bara. *Fullerene Journal of Chemistry* **2019**, *4* (1), 5–7. DOI: 10.37033/fjc.v4i1.43
- [6] Darmansyah.; Simanullang, N.J.B. Prosiding Seminar Nasional "Kontribusi Akademi dalam Pencapaian Pembangunan Berkelanjutan", Universitas Brawijaya, Indonesia, 12 Februari 2016; Malang, Indonesia.
- [7] Suyanta, S.; Kuncaka, A. Sintesis Katalis Ramah Lingkungan dan Tahan Hidrotermal Berdasarkan Substitusi Isomorfis Fe(III) pada MCM-41-Tersililasi yang Dibuat dengan Memanfaatkan Sekam Padi. *Indonesia Journal Chemistry* **2011**, *11* (3), 279–84.
- [8] Darmawan, A. Hidrorengkah Fraksi Berat Minyak Bumi Menggunakan Katalis Lempung Terpillar Aluminium Berpengemban Nikel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* **2004**, *7* (1), 6–9.
- [9] Sutrisno, H.; Arianingrum, R.; Ariswan, D. Silikat dan Titanium Silikat Mesopori-Mesotruktur Berbasis Struktur Heksagonal dan Kubik. *Jurnal Matematika dan Sains* **2005**, *10* (2), 69–74.
- [10] Tengker, S.M.T.; Falah, I.I. Sintesis Dan Karakterisasi Material Mesopori MCM-41 Menggunakan TMAOH dan Garam Anorganik K₂SO₄. *Fullerene Journal Chemistry* **2019**, *4* (2), 61–65. DOI: 10.37033/fjc.v2i2.10
- [11] Wiyanti, D.N.; Ediati, R. Prosiding Kimia FMIPA – ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2010; Surabaya, Indonesia.
- [12] Badriyah, L.; Falah, I.I. Produksi Gasoline Dari Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Ni-MCM-41 dan Co/Ni-MCM-41. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidik Kimia)* **2017**, *2* (1), 22–28. DOI: 10.20961/jkpk.v2i1.8516
- [13] Syahbani, E.; Darmawan, N.; Suparto, I.H. Sintesis Material Silika MCM-41 Serta Aplikasinya Sebagai Penjerap Logam Pb(II). *Journal of Mathematical and Fundamental*

- Sciences* **2016**, 2 (1), 52–59.
- [14] Darmansyah.; Simparmin, G.; Ardiana, L.; Saputra, H. Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* **2016**, 11 (1), 10–16. DOI: <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4228>
- [15] Ananda, M,B. Mesoporous Silica Nanoparticles Sebagai Drug Carrier pada Aplikasi Controlled Drug Delivery System. *Jurnal Perancangan, Manufaktur, Material, dan Energi (Jurnal PERMADI)*, **2020**, 2 (3), 102–109.