

Sintesis dan Karakterisasi Al-MCM-41 dari Kaolin Bangka Belitung sebagai Sumber Silika dan Alumina

Synthesis and Characterization of Al-MCM-41 from Bangka Belitung Kaolin as Silica and Alumina Source

Muchamad Lutfi Nurfauzi¹, Mordekhai Yosep Susianto¹, Dyah Suci Perwitasari^{1,*}, Reva Edra Nugraha^{1,2,*}, Abdul Aziz³, Stella Jovita³, Diana Inas Utami³, Nabilla Damayanti³

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya 60294, East Java, Indonesia

²Low Carbon Technologies Research Center, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, East Java, 60294, Indonesia

³Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*Email korespondensi : saridyah05@gmail.com, reva.edra.tk@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Al-MCM-41 adalah material padatan berpori yang tersusun dari silika amorf, memiliki struktur membentuk susunan heksagonal dengan ukuran pori antara 2-50 nm, sehingga dikategorikan sebagai material mesopori. Dalam pembuatan Al-MCM-41 membutuhkan sumber silika dan alumina yang tinggi sebagai bahan pembuatannya, sehingga dibutuhkan bahan yang kaya akan kedua senyawa tersebut sebagai bahan alternatif dalam pembuatan Al-MCM-41. Rumus formula kaolin adalah $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ dengan komponen mineral utamanya adalah SiO_2 dan Al_2O_3 . Kaolin yang digunakan berasal dari Bangka Belitung dengan kandungan SiO_2 sebesar 61% dan Al_2O_3 sebesar 31%, kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang cukup tinggi dimanfaatkan sebagai bahan pada sintesis material aluminosilikat seperti Al-MCM-41. Sintesis Al-MCM-41 dari kaolin dilakukan dengan metode hidrotermal. pH yang digunakan sebesar 10, dengan suhu 80°C selama 12 jam pada proses hidrotermalnya. Al-MCM-41 hasil sintesis dianalisa menggunakan XRD dan FTIR dimana pada analisa XRD sudut pendek menunjukkan 3 puncak pada $2\theta = 2.237^\circ$, 3.921° , 4.449° dan XRD sudut panjang pada $2\theta = 21.449^\circ$. Analisa FTIR untuk Al-MCM-41 menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang 436.49; 802.47; 1146.41; 1630.61; 3389.79 cm^{-1} .

Kata kunci: Al-MCM-41, hidrotermal, lempung, kaolin, mesopori, pH

ABSTRACT

Al-MCM-41 is a porous solid material composed of amorphous silica, has a structure forming a hexagonal array with a pore size between 2-50 nm, so it is categorized as a mesoporous material. The manufacture of Al-MCM-41 requires a high source of silica and alumina as materials, so materials rich in both compounds are needed as the development of materials used in the manufacture of Al-MCM-41. Kaolin ($Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$) is a white clay mineral, the main minerals are SiO_2 and Al_2O_3 . The kaolin used comes from Bangka Belitung with a SiO_2 content of 61% and Al_2O_3 of 31%, the high content of SiO_2 and Al_2O_3 is utilized as an ingredient in the synthesis of aluminosilicate materials such as Al-MCM-41. The synthesis of Al-MCM-41 from kaolin was carried out by hydrothermal method. The pH used was 10, with a temperature of 80°C for 12 hours in the hydrothermal process. The synthesized Al-MCM-41 was analyzed using XRD and FTIR where the short angle XRD analysis showed 3 peaks at $2\theta = 2.237^\circ$, 3.921° , 4.449° and long angle XRD at $2\theta = 21.449^\circ$. FTIR analysis for Al-MCM-41 showed absorption bands at wave numbers 436.49; 802.47; 1146.41; 1630.61; 3389.79 cm^{-1} .

Keywords: Al-MCM-41, clay, hydrothermal, kaolin, mesopore, pH

PENDAHULUAN

Kaolin merupakan hasil batuan tambang yang mengandung silika (Hermida *et al.*, 2020). Di Indonesia, endapan kaolin terdapat di Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Pulau Bangka, Pulau Belitung, Pulau Jawa, dan Pulau Sulawesi Utara. Di Jawa Timur, endapan kaolin telah ditemukan di Blitar dan Trenggalek (Azka Kamila, 2021). Daerah penghasil kaolin seperti di Pulau Belitung yang tentunya masih dapat dioptimalkan produksinya. Produsen di daerah sepenuhnya dapat mendukung kebutuhan semua jenis industri dalam negeri yang membutuhkan kaolin sesuai dengan produk dan kualitas yang ditentukan. Kaolin biasanya muncul sebagai mineral kaolinit murni. (Sunardi, 2016). Struktur kaolinit biasanya berupa lapisan pseudoheksagonal bertumpuk dengan ukuran ($<2\mu\text{m}$). Lapisan ini tersusun atas lembaran silika tetrahedral dengan atom O yang terikat pada atom Si dan lembaran alumina oktahedral dengan gugus OH yang terikat pada Al (Pasi *et al.*, 2020).

MCM-41 adalah material padat dengan stabilitas termal tinggi, tata letak heksagonal, luas permukaan yang luas, rongga yang homogen, dan struktur teratur yang terbuat dari silika amorf. Kecerbagunaan MCM-41 terletak pada strukturnya yang berpori, yang dapat disesuaikan melalui penggunaan surfaktan, senyawa kimia, logam, dan kondisi reaksi (Hasanah *et al.*, 2018).

Pengembangan kaolin sebagai bahan baku sintesis Al-MCM-41 ini diperlukan karena kandungan silika pada kaolin sangat tinggi. Dimana terdapat beberapa bahan yang bisa menjadi sumber silika contohnya : abu sekam padi, abu layang, ampas tebu dan kaolin. Dimana secara berturut-turut kandungan silikanya 37.15%, 39.64%, 38.04%, dan 46.4%. Maka dari itu kaolin dipilih sebagai bahan baku pembuatan MCM-41 ini. Serta penggunaan kaolin sebagai bahan baku tidak harus melalui proses pre-treatment seperti bahan-bahan yang lainnya. (Abdullahi *et al.*, 2013)

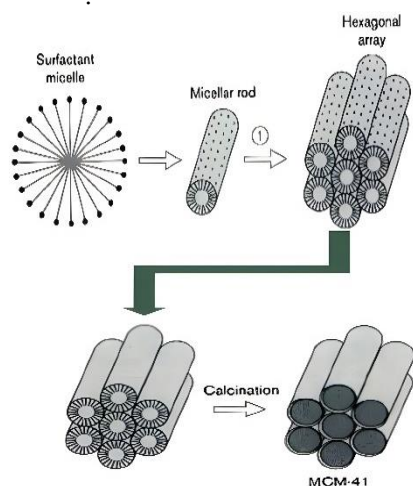
Sintesis *Mobil Crystalline Materials* (MCM) oleh para peneliti di Mobil Corporation dilakukan pada tahun 1992 yang merupakan jenis silika mesopori

memicu lonjakan minat terhadap material tersebut. Bahan yang paling sering digunakan adalah MCM-41 yang memiliki pori-pori berukuran mulai dari 2 hingga 4 nanometer (Hartono, 2017). 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. Metode liquid crystal template (LCT) merupakan mekanisme dimana surfaktan dalam wujud cair berfungsi sebagai template organik. Mekanisme ini telah banyak digunakan sebagai metode pembuatan material dan menghasilkan berbagai macam variasi ukuran pori. Variasi ukuran pori ini dihasilkan akibat adanya variabel komposisi surfaktan yang digunakan.

Pada tahap "*liquid-crystal templating*" (LCT), lapisan senyawa silika terbentuk di antara surfaktan yang berfungsi sebagai template, memungkinkan produksi silika mesopori. Surfaktan yang berfungsi sebagai templat tersebut kemudian dihilangkan dengan proses kalsinasi (Eftekhari, 2017). Salah satu dari banyak aplikasi silika berpori adalah dalam adsorpsi (Shu *et al.*, 2014). Silika mesopori merupakan material yang menjanjikan dan dapat digunakan dalam beberapa hal, seperti katalis, adsorben, dan sarana pengiriman obat. Fungsi silika mesopori pada berbagai aplikasi didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki luas permukaannya tinggi, ukuran pori, dan karakteristik kimia permukaannya.

Salah satu keunggulan dari Al-MCM-41 seperti sarang lebah dilengkapi susunan pori heksagonal yang teratur. Kemampuan Al-MCM-41 untuk melakukan proses adsorpsi disebabkan oleh ukuran pori heksagonalnya. Pada penelitian sebelumnya, Al-MCM-41 telah disintesis dengan metode hidrotermal serta memiliki luas permukaan hingga $1000\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (Ahda *et al.*, 2013). Kaolin memiliki jumlah pengotor yang relatif rendah dibandingkan dengan mineral lain seperti zeolit alam yang memiliki banyak kandungan pengotor seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan Fe^3 . Keberadaan pengotor ini akan mengurangi jumlah SiO_2 dan Al_2O_3 serta dapat mengganggu pada proses sintesis.

Surfaktan yang biasa digunakan dalam sintesis Al-MCM-41 adalah setil trimetilamonium bromida (CTAB) (Cai *et al.*, 1999). Saat mensintesis Al-MCM-41, surfaktan sering digunakan sebagai prekursor pembentukan struktur mesopori dan templat. Surfaktan mampu mengontrol pembentukan struktur mesopori serta susunan atau keteraturan pori yang terbentuk. Saat konsentrasi surfaktan dalam pelarut meningkat, energi permukaan pelarut akan berkurang. Ketika surfaktan mencapai konsentrasi kritisnya (CMC), penurunan energi permukaan akan terhenti, setelah itu energi permukaan akan tetap relatif konstan karena lebih banyak surfaktan yang ditambahkan. Misel merupakan sekelompok surfaktan yang terbentuk ketika konsentrasi surfaktan mencapai titik kritis (Sun *et al.*, 2002).



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Al-MCM-41

Mekanisme pembentukan Al-MCM-41 ditunjukkan pada Gambar 1. Sintesis MCM-41 terjadi antara sumber silika yaitu dari kaolin dan ludox serta surfaktan cetiltrimetilamonium bromida (CTAB), NaOH untuk membentuk keadaan basa dan air. Campuran tersebut bereaksi membentuk misel dan surfaktan berperan sebagai cetakan yang membentuk heksagonal. Perubahan bentuk misel dari bentuk spheris 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 Al-MCM-41 dengan struktur heksagonal. Apabila proses telah berjalan dengan sempurna, material akan disaring dan dikeringkan pada suhu kamar. Pelepasan surfaktan dilakukan dengan metode kalsinasi. Pada proses kalsinasi tersebut, surfaktan akan terbakar sehingga terbentuklah Al-MCM-41. Pada penelitian Ahda 2013 sintesis Al-MCM-41 menggunakan bahan baku natrium silikat (kandungan SiO₂ 27%) tentunya lebih rendah dibanding dengan kaolin (SiO₂ 46%) dimana silika menyediakan permukaan aktif yang diperlukan untuk adsorpsi molekul (Ahda *et al.*, 2013). Kandungan silika yang rendah dapat mengurangi luas permukaan spesifik dan kapasitas adsorpsi MCM-41.

Adapun faktor yang dapat mempengaruhi sintesis Al-MCM-41 yaitu pH larutan yang diturunkan hingga pH optimum untuk pembentukan Al-MCM-41, yaitu sekitar 10,2. Jika nilai pH terlalu tinggi (pH > 12), maka pembentukan dinding silikat tidak sempurna. Faktor lain adalah waktu pencampuran. Surfaktan tidak akan larut jika waktu pengadukan terlalu singkat serta menghentikan polimerisasi lapisan permukaan surfaktan-silikat dan menghentikan pembentukan struktur pori Al-MCM-41 secara teratur. Waktu dan suhu sintesis Al-MCM-41 mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pembentukannya. Hal ini disebabkan senyawa silikat belum cukup kuat untuk menutupi bagian luar surfaktan (polimerisasi belum sempurna) dan strukturnya rusak pada saat kalsinasi sehingga membentuk Al-MCM-41 (Danny Wibowo, Ivy Yuniata, Andriana Ateng, 2004).

Dari banyaknya keunggulan dari kaolin Bangka Belitung dan kestabilan ketersediaan kaolin yang melimpah oleh karena itu dilakukan sintesis Al-MCM-41 ini dengan tujuan untuk mengetahui keberhasilan kaolin sebagai sumber silika dalam sintesis Al-MCM-41. Sintesis Al-MCM-41 dari Kaolin Bangka Belitung serta karakterisasi. Analisa yang digunakan dalam penelitian ini adalah XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui komposisi senyawa dalam sampel, XRD (*X-Ray*

Diffraction) untuk mengetahui keberhasilan sintesis Al-MCM-41 dengan mengidentifikasi fasa yang terbentuk serta FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) untuk analisa gugus fungsi dari ikatan yang terbentuk dalam struktur Al-MCM-41.

BAHAN DAN METODE

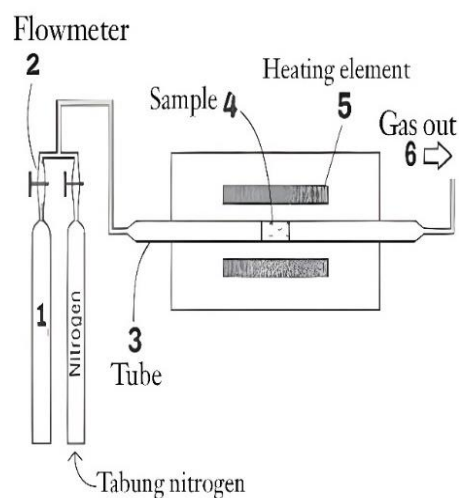
Kaolin dengan formula kimia $Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$ diperoleh dari Bangka Belitung, Indonesia. LUDOX® HS-40 (30% silika dalam air) dan CTABr (*cetyltrimethylammonium bromide*, $C_{19}H_{42}BrN$, assay 99%) diperoleh dari Sigma Aldrich, Germany. NaOH (99%) diperoleh dari Merck, Germany.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Material dan Energi, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember tepatnya dan Laboratorium Biomassa dan Energi, Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Sintesis Al-MCM-41

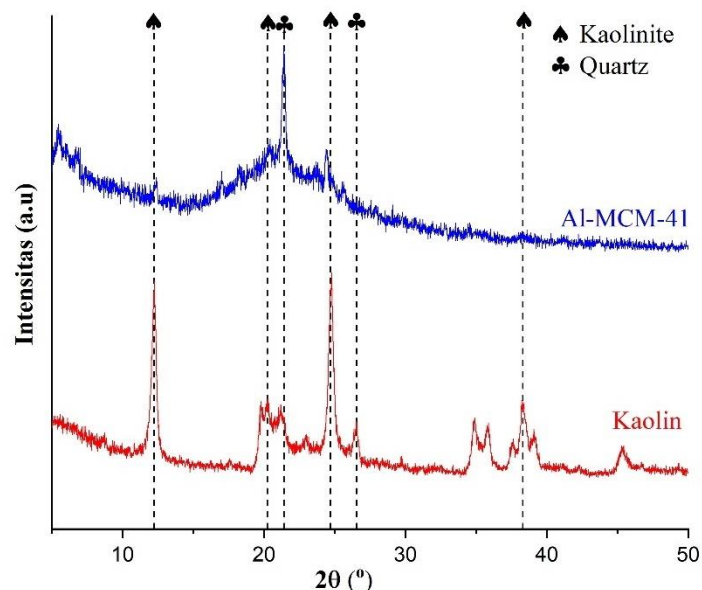
Sintesis Al-MCM-41 dari kaolin dilakukan dengan mengacu pada metode yang dilaporkan oleh Nugraha *et al.*, (2021) dengan modifikasi pada waktu hidrotermal kedua. Komposisi molar yang digunakan dalam penelitian ini yakni $Na_2O : SiO_2 : Al_2O_3 : H_2O = 10 : 100 : 2 : 1800$. Natrium hidroksida (NaOH) dilarutkan dan dicampurkan dengan aquades serta diaduk selama 30 menit dan diperoleh larutan berwarna bening. Kaolin ditambahkan pada larutan NaOH dan diaduk hingga tercampur secara homogen dengan pH 10. Ludox dan aquades ditambahkan secara tetes demi tetes secara bergantian dan diaduk kuat. Larutan campuran diaduk selama 8 jam pada suhu $30^\circ C$ dan didiamkan selama 6 jam pada suhu $70^\circ C$. Gel yang terbentuk selanjutnya di hidrotermal selama 12 jam pada suhu $100^\circ C$. Dengan waktu hidrotermal 12 jam menunjukkan bahwa material ini memiliki keteraturan pori-pori heksagonal yang paling tinggi dibanding dengan material lain (Ahda, 2016). Selanjutnya gel didinginkan dan ditambahkan CTAB perlahan-lahan disertai dengan pengadukan

kuat agar campuran gel tadi tidak mengeras dan tercampur merata. Campuran gel selanjutnya di hidrotermal menggunakan autoclave pada suhu $150^\circ C$ dengan waktu 12 jam. Gel yang terbentuk selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga pH netral. Padatan dikeringkan pada suhu $100^\circ C$ selama 12 jam. Al-MCM-41 yang dihasilkan kemudian di kalsinasi pada furnace tubular dengan suhu $550^\circ C$ selama 1 jam dengan aliran N_2 dan 5 jam dengan aliran udara.



Gambar 2. Rangkaian alat *Furnace Tubular*

Pada tahap kalsinasi digunakan *furnace tubular* yaitu alat pemanas listrik yang digunakan dalam sintesis. Selain itu bisa digunakan sebagai pemurnian senyawa anorganik dan dalam beberapa kasus sintesis organik. Digunakannya furnace tubular yakni mempermudah keluarnya sisa-sisa senyawa yang terbakar dan tidak dibutuhkan lagi karena desain furnace tubular yang memiliki aliran gas keluar. Desain furnace tubular yakni terdiri dari tabung silinder *quartz* yang dikelilingi oleh koil pemanas yang tertanam dalam matriks isolasi. Suhu dapat dikontrol dengan umpan balik dari *thermocouple*. Tabung tubular yang lebih kompleks memiliki dua (atau lebih) zona pemanasan dan berguna untuk mempercepat proses pemanasan. Rangkaian alat *furnace tubular* yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2. Tabung gas nitrogen ditunjukkan pada Nomor 1. *Flowmeter* berfungsi untuk mengontrol laju alir gas N_2 yang digunakan dalam proses kalsinasi.



Gambar 3. Pola difraksi sudut panjang pada kaolin dan MCM-41

Tabel 1. Komposisi Senyawa Dari Beberapa Sumber Silika dan Alumina

Senyawa	Sumber			
	Kaolin Bangka Belitung, Indonesia	Kaolin Kankara, Nigeria	Kaolin, Malaysia	Kaolin Blitar, Indonesia
Al ₂ O ₃	31	28.43	37.76	12
SiO ₂	61	54.21	57.76	65.4
P ₂ O ₅	2.1	-	0.31	-
SO ₃	0.2	-	-	-
K ₂ O	2.53	3.9	1.80	8
CaO	0.84	1.86	0.35	2.68
TiO ₂	0.35	0.11	0.60	3.68
V ₂ O ₅	0.02	-	-	0.08
Fe ₂ O ₃	1.9	0.8	0.86	8.61
CuO	0.083	0.02	-	0.12
Referensi	Penelitian ini	(Salahudeen <i>et al.</i> , 2015)	(Yahaya <i>et al.</i> , 2017)	(Khalifah <i>et al.</i> , 2018)

Tabung tubular merupakan *quartz* (kuarsa) dapat digunakan pada suhu tinggi hingga 1200°C. Sampel diletakkan pada posisi tengah untuk mendapatkan posisi pemanasan yang optimal. Heating elemen berperan sebagai pemanas dalam *furnace tubular*.

Karakterisasi Al-MCM-41

Analisis komponen senyawa pada kaolin dianalisis menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) Philips Xpert MPD. Transformasi fasa kaolin menjadi struktur aluminosilikat Al-MCM-41 dianalisis dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) sudut

panjang menggunakan PHILIPS-binary XPert dengan difraktometer MPD dengan radiasi Cu K α yang dioperasikan pada 30 mA dan 40 kV serta XRD sudut pendek menggunakan Bruker tipe D2 Phaser dengan radiasi KFL Cu 2K pada 10 mA dan 30 kV. Analisis gugus fungsi ikatan pada struktur aluminosilikat Al-MCM-41 dianalisis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) pada rentang bilangan gelombang 400–1400 cm⁻¹ (FTIR Shimadzu Instrument Spectrum One 8400S).

HASIL DAN PEMBAHASAN

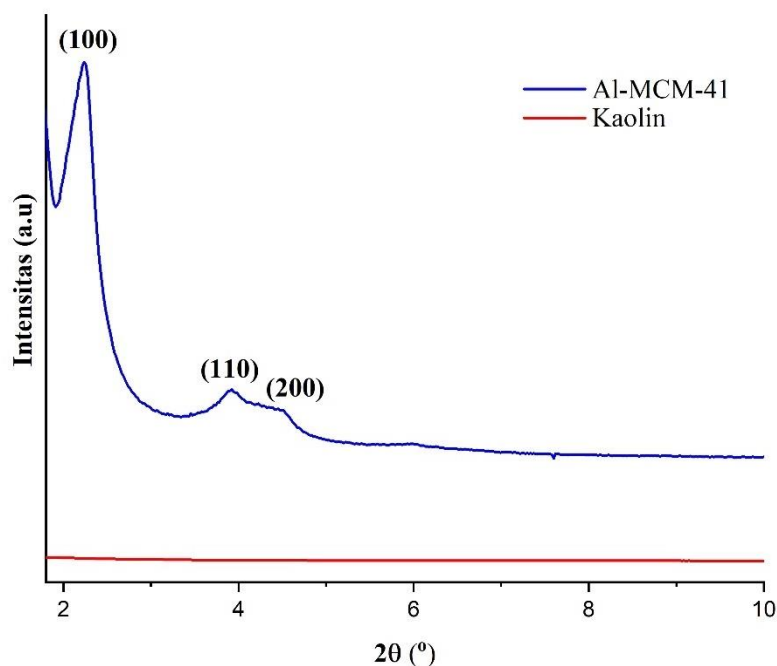
Analisa XRF pada Kaolin

Pada penelitian ini Kaolin Bangka Belitung digunakan sebagai sumber silika dan alumina pada sintesis Al-MCM-41. Komposisi senyawa pada kaolin Bangka Belitung serta kaolin lainnya ditampilkan pada Tabel 1. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa secara keseluruhan senyawa utama penyusun kaolin adalah Al_2O_3 dan SiO_2 (>50%). Perbedaan kadar silika dan alumina (komposisi mineral) kaolin alam sangat dipengaruhi oleh geologi endapan kaolin sehingga letak geografis kaolin sangat mempengaruhi kadar silika dan alumina yang terbentuk (Dewi *et al.*, 2020). Pada penelitian Ahda 2013, sintesis menggunakan natriu silikat (SiO_2 27%; Al_2O_3 33%) terjadi penurunan kristalinitas pada Al-MCM-41 karena kandungan silika dan aluminanya yang kecil (Ahda *et al.*, 2013). Sedangkan pada kaolin Bangka Belitung (SiO_2 61%; Al_2O_3 31%) memiliki kristalinitas dan warna yang lebih cerah. Kandungan silika yang rendah dapat menyebabkan ketidakmampuan dalam membentuk struktur pori yang teratur, mengakibatkan pori-pori yang tidak teratur atau bahkan kehilangan struktur pori sama sekali (Harlard, 2016).

Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 pada Kaolin Bangka Belitung cukup tinggi sehingga sangat berpotensi untuk digunakan sebagai sumber silika dan alumina pada sintesis Al-MCM-41.

Analisa XRD (X-Ray Diffraction)

Komposisi senyawa pada kaolin dapat dianalisis menggunakan XRD sudut panjang seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Kaolin memiliki 2 senyawa utama yakni kaolinite dan quartz. Puncak difraksi dari kaolinite ditunjukkan pada $2\theta = 12.230^\circ$, 24.794° dan 38.817° , sedangkan puncak difraksi quartz ditunjukkan pada $2\theta = 21.43^\circ$ dan 26.369° (Li *et al.*, 2021). Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kaolin alam umumnya terdiri dari kaolinit sebagai mineral utama dengan mineral lain seperti kuarsa, ilit, hematit, goetit, gibbsit, halloysit, anatase, dll (Ojo *et al.*, 2017; Tchakoute *et al.*, 2015). Terbentuknya puncak melebar (*hump*) pada $2\theta = 15-30^\circ$ menandakan adanya silika amorf Al-MCM-41 yang telah disintesis. Adanya puncak difraksi dari quartz pada Al-MCM-41 yang telah disintesis menunjukkan tidak sempurnanya transformasi kaolin menjadi Al-MCM-41.



Gambar 4. Pola Difraksi Sudut Pendek Pada Kaolin dan MCM-41

Hal ini dikarenakan quartz tidak terdisolusi secara sempurna pada larutan alkali (NaOH) (Ali *et al.*, 2020; Schwartzentruber *et al.*, 1987). Ketidaksempurnaan transformasi ini dapat disebabkan oleh suhu, waktu, atau pengaturan pH. Suhu sintesis MCM-41 biasanya antara 100 dan 150°C, namun suhu ideal bergantung pada formulasi khusus dan komposisi larutan. Meningkatkan suhu secara bertahap dan melacak perubahan struktur dapat membantu untuk mengurangi ketidaksempurnaan (Castillo *et al.*, 2020).

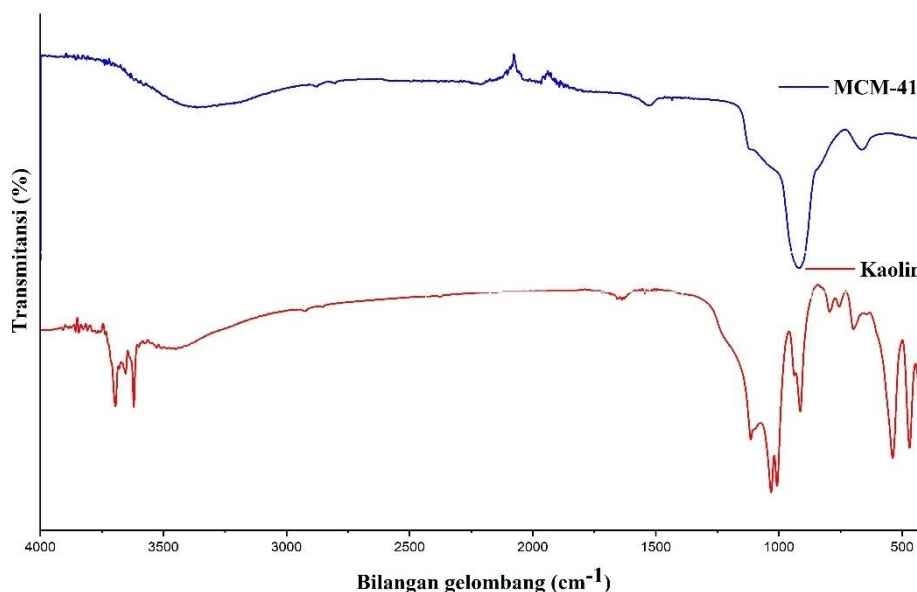
Pola difraksi sudut pendek dari kaolin dan Al-MCM-41 ditampilkan pada Gambar 4. Kaolin tidak memiliki puncak difraksi pada $2\theta = 2-10^\circ$ yang menunjukkan bahwa kaolin tidak memiliki struktur pori yang teratur. Sebaliknya pada Al-MCM-41 yang telah disintesis menunjukkan adanya puncak difraksi pada $2\theta = 2.237^\circ, 3.921^\circ, \text{ dan } 4.449^\circ$. Puncak difraksi ini menunjukkan adanya struktur yang teratur dari sampel dengan simetri heksagonal p6mm pada Al-MCM-41 (Kong *et al.*, 2022).

Analisa FTIR

Gugus fungsi ikatan pada suatu senyawa dapat dianalisis menggunakan FTIR. Gambar 5 menunjukkan spectra FTIR dari kaolin dan Al-MCM-41. Spektra FTIR pada kaolin menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 468.72; 538.16; 912.36; 1006.88; 1031.95; 1639.55; 3620.51; 3695.73

cm^{-1} . Menurut (Sunardi, 2016) kaolin memiliki serapan yang cukup tajam pada bilangan gelombang 500, 1000, 1600, dan 3400 hingga 3600 cm^{-1} . Serapan tajam pada bilangan gelombang 1000 cm^{-1} merupakan karakteristik vibrasi ulur dari Si-O. Ketika M= Si atau Al, getaran M-O menyebabkan absorpsi yang kuat pada daerah 950-1250 cm^{-1} . Penyerapan di daerah 1600 cm^{-1} dan 3400 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk -OH yang terperangkap dalam kisi kristal dan vibrasi -OH yang terikat pada atom Al. Serapan pada bilangan gelombang sekitar 3600 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dari -OH bebas. Berdasarkan analisis dapat diketahui bahwa kaolin memiliki gugus fungsi-OH dan Si-O. Pada Al-MCM-41 yang telah disintesis menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 436.49; 802.47; 1146.41; 1630.61 dan 3389.79 cm^{-1} .

Struktur utama penyusun kerangka Al-MCM-41 adalah T-O dimana T merupakan Si atau Al. Pita serapan khas dari ikatan R-O dari Al-MCM-41 berada pada daerah inframerah tengah yaitu 1250-300 cm^{-1} . Serapan pada vibrasi asimetris ikatan -O (di mana T=Si/Al) ditunjukkan pada bilangan gelombang 1064.71 cm^{-1} . Pada 794.67 cm^{-1} terdapat vibrasi regangan asimetris dari ikatan T-O tetrahedral bagian luar, dan pada 455.20 cm^{-1} terdapat getaran pembengkokan simetri dari mata rantai yang sama tetrahedral internal material hasil sintesis.



Gambar 5. Spektra FTIR Dari Kaolin dan MCM-41

Ikatan Si-OH dalam Al-MCM-41 ditunjukkan pada serapan di daerah bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} . Hal ini juga didukung dengan munculnya vibrasi ikatan -OH pada daerah bilangan gelombang 3448.72 cm^{-1} (Setiadi, 2016).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur yang telah memberikan pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Dasar Lanjutan dengan nomor kontrak SPP/130/UN.63.8/LT/V/2024 serta Laboratorium Kimia Material dan Energi, Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai tempat pelaksanaan kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, Y., Ali, E. A., & Lawal, A. O. (2013). Roast-alkaline leaching of silica from kaolinitic clay. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(10), 864–870.
- Ahda, M., Sutarno, S., & Kunarti, E. S. (2013). Sintesis Silika Mcm-41 Dan Uji Kapasitas Adsorpsi Terhadap Metilen Biru. *Pharmaciana*, 3(1). <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v3i1.414>
- Ali, A. M., Yahya, N., Mijinyawa, A., Kwaya, M. Y., & Sikiru, S. (2020). Molecular simulation and microtextural characterization of quartz dissolution in sodium hydroxide. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(7), 2669–2684. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-00940-2>
- Azka Kamila, R. (2021). Kaolin in Pharmaceutical Preparations: A Review Review: Kaolin Sebagai Bahan Sediaan Farmasi. *Jurnal Ilmiah Farmasi (Scientific Journal of Pharmacy)*, 17(2), 145–159. <http://journal.uui.ac.id/index.php/JIF>
- Cai, Q., Lin, W. Y., Xiao, F. S., Pang, W. Q., Chen, X. H., & Zou, B. S. (1999). The preparation of highly ordered MCM-41 with extremely low surfactant concentration. *Microporous and Mesoporous Materials*, 32(1–2), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(99\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(99)00082-7)
- Castillo, R. R., De La Torre, L., García-Ochoa, F., Ladero, M., & Vallet-Regí, M. (2020). Production of MCM-41 nanoparticles with control of particle size and structural properties: Optimizing operational conditions during scale-up. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms21217899>
- Danny Wibowo, Ivy Yuniata, Andriana Ateng, S. I. (2004). Sintesa Nanoporos Material. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 3, 1050110.
- Dewi, R., Agusnar, H., Alfian, Z., & Tamrin. (2020). Physicochemical characterization of natural kaolin from jaboi indonesia. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(1), 382–388. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1315523>
- Eftekhari, A. (2017). Ordered mesoporous materials for lithium-ion batteries. *Microporous and Mesoporous Materials*, 243, 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2017.02.055>
- Hartono, S. B. (2017). Pembuatan, Modifikasi dan Pemanfaatan Material Nano-Pori. *Ilmiah Widya Teknik*, 16(1), 54–57.
- Hasanah, N., Sutarno, S., & Kunarti, E. S. (2018). Characteristic Study of the MCM-41 Modified with Zn by Direct Synthesis. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 3(3), 183. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v3i3.22808>
- Hermida, L., Lestari, I., & Agustian, J. (2020). Silika Berpori dari Kaolin Alam Lampung dan Kajian Aplikasinya terhadap Adsorpsi Rhodamin B. *Jurnal Unikom*, 24–32.
- Khalifah, S. N., Aini, Z. N., Hayati, E. K., Aini, N., & Prasetyo, A. (2018). Synthesis and characterization of mesoporous NaY zeolite from natural Blitar's kaolin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 333(1). <https://doi.org/10.1088/1757->

- 899X/333/1/012005
- Kong, J., Park, S. S., & Ha, C. S. (2022). pH-Sensitive Polyacrylic Acid-Gated Mesoporous Silica Nanocarrier Incorporated with Calcium Ions for Controlled Drug Release. *Materials*, 15(17), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ma15175926>
- Li, C., Li, Z., Wu, T., Luo, Y., Zhao, J., & Li, X. (2021). Metallogenic characteristics and formation mechanism of naomugeng clay-type lithium deposit in central inner mongolia, china. *Minerals*, 11(3), 1-19. <https://doi.org/10.3390/min11030238>
- Nugraha, R. E., Prasetyoko, D., Asikin-Mijan, N., Bahruji, H., Suprpto, S., Taufiq-Yap, Y. H., & Jalil, A. A. (2021). The effect of structure directing agents on micro/mesopore structures of aluminosilicates from Indonesian kaolin as deoxygenation catalysts. *Microporous and Mesoporous Materials*, 315(October 2020), 110917. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.110917>
- Ojo, G., Igbokwe, U., Egbuachor, C., & Nwozor, K. (2017). Geotechnical properties and geochemical composition of kaolin deposits in parts of ifon, southwestern Nigeria. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(3), 15-24.
- Pasi, N. I., Bratadireja, M. A., & Chaerunnisa, A. Y. (2020). Study of Physicochemical Characteristics of Kaolin from Belitung Regency. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 7(2), 38. <https://doi.org/10.24198/ijpst.v7i2.25675>
- Salahudeen, N., Nasiru, A., Ahmed, A., Dauda, M., Waziri, S., Okonkwo, P., & Isa, M. (2015). Chemical and Physical Comparative Study of the Effect of Wet and Dry Beneficiation of Kankara Kaolin. *Nigerian Journal of Technology*, 34(2), 297. <https://doi.org/10.4314/njt.v34i2.13>
- Schwartzentruber, J., Fürst, W., & Renon, H. (1987). Dissolution of quartz into dilute alkaline solutions at 90°C: A kinetic study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(7), 1867-1874. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90177-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90177-3)
- Setiadi, A. (2016). Sintesis Zeolit Dengan Kandungan Si/Al Rendah Dari Kaolin Menggunakan Metode Peleburan Dan Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3), 164-168.
- Shu, Z., Li, T., Zhou, J., Chen, Y., Yu, D., & Wang, Y. (2014). Template-free preparation of mesoporous silica and alumina from natural kaolinite and their application in methylene blue adsorption. *Applied Clay Science*, 102, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.10.006>
- Sun, X. M., Chen, X., Deng, Z. X., & Li, Y. D. (2002). A CTAB-assisted hydrothermal orientation growth of ZnO nanorods. 78, 99-104.
- Sunardi. (2016). Kajian Spektroskopi Ftir, Xrd Dan Sem Kaolin Alam Asal Tatakan, Kalimantan Selatan Hasil Purifikasi Dengan Metode Sedimentasi. *Sains Dan Terapan Kimia*, 4(2), 137-149.
- Tchakoute, H. K., Rüscher, C. H., Djobo, J. N. Y., Kenne, B. B. D., & Njopwouo, D. (2015). Influence of gibbsite and quartz in kaolin on the properties of metakaolin-based geopolymer cements. *Applied Clay Science*, 107, 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.023>
- Yahaya, S., Jikan, S. S., Badarulzaman, N. A., & Adamu, A. D. (2017). Chemical Composition and Particle Size Analysis of Kaolin. *Path of Science*, 3(10), 1001-1004. <https://doi.org/10.22178/pos.27-1>