

**SINTESIS SILIKA MESOPORI TERSULFONASI DARI ABU DAUN BAMBU PETUNG
(*Dendrocalamus asper*)**

**SYNTHESIS OF SULFONATED MESOPOROUS SILICA FROM BAMBOO LEAVES ASH
(*Dendrocalamus asper*)**

Sari Clara Precelia, RR Dirgarini Julia Nurlianti Subagyono*, Chairul Saleh
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok, Kampus Gn. Kelua, Samarinda 75123
*E-mail: dirgarini_julia@yahoo.co.id

Received: 20 December 2017, Accepted: 03 March 2018

ABSTRACT

Research on the synthesis of sulfonated mesoporous Silica from bamboo leaves ash (*Dendrocalamus asper*) as Heterogeneous Acid Catalyst has been conducted. Bamboo Leaf Ashfish serves as a source of silica for the manufacture of Mesoporous Silica. The research phase consisted of synthesis of MSU-H with surfactant template method, mesoporous silica modification with 3-mercaptopropyl-trimethoxysilane (MPTMS) using post grafting method. The mesoporous silica has a pore volume of $1.03 \text{ cm}^3/\text{g}$, a surface area of $150 \text{ m}^2/\text{g}$ and a pore diameter of 27.5 nm. The FT-IR spectrum of mesoporous silica before sulfonation shows the presence of Si-O-Si, and Si-OH functional groups while that of Mesoporous silica after sulfonation shows the presence of Si-O-Si, Si-O, Si-OH and $-\text{SO}_3\text{H}$ functional groups.

Keywords: *Leaves of Petung Bamboo, Catalyst, Mesoporous Silica, FT-IR, Surfactant Template, Post Grafting*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan beraneka ragam jenis sumberdaya alam yang untuk menunjang kebutuhan kehidupan. Tanaman bambu merupakan salah satu contoh sumber daya alam yang tersebar di dalam jumlah besar di Indonesia [1]. Tanaman bambu hidup berumpun, seperti halnya tebu, bambu mempunyai ruas dan buku. Pada setiap ruas tumbuh cabang-cabang yang berukuran jauh lebih kecil dibandingkan dengan buluhnya sendiri. Daun

Bambu merupakan biomasa yang pemanfaatannya belum maksimal. Saat ini mulai dikembangkan pemanfaatan limbah biomassa untuk meningkatkan nilai ekonomis dan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Pemanfaatan daun bambu biasanya digunakan sebagai pupuk organik. Daun bambu memiliki banyak kandungan senyawa kimia yang cukup banyak salah satunya yaitu kadar silika yang cukup banyak sekitar 58,3% yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan silika [1].

Sintesis Silika Mesopori menggunakan TEOS sebagai sumber silika dimana bahan tersebut sangat toksik. Saat ini sudah mulai dikembangkan pembuatan Silika Mesopori dengan menggunakan bahan dasar biomasa seperti sekam padi, ampas tebu,

daun jagung dan daun bambu yang memiliki kadar silika yang cukup besar [2].

Silika mesopori adalah suatu material yang solid dan berpori yang memiliki diameter pori 2 nm sampai 50 nm. Material ini dapat diaplikasikan pada berbagai bidang seperti penukar ion, separasi, katalis, sensor, *template* untuk *carbon nanotube* dan pemurnian material [3].

Katalis heterogen adalah salah satu material yang cukup potensial untuk menggantikan katalis homogen dimana katalis ini memiliki kestabilan yang tinggi, mudah dipisahkan dari produk, mudah diregenerasi dan memiliki selektivitas yang cukup tinggi. Salah satu katalis heterogen yang dipakai pada proses esterifikasi adalah Silika Mesopori yang tersulfonasi. Material Silika Mesopori tersulfonasi merupakan katalis heterogen yang belakangan ini cukup banyak dipelajari sebagai katalis reaksi transesterifikasi/esterifikasi untuk pembuatan biodiesel [4].

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini dilakukan pembuatan katalis Silika Mesopori tersulfonasi dari abu daun bambu.

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi Sampel

Pada preparasi sampel dilakukan melalui 3 tahapan yaitu tahap pertama daun bambu dikumpulkan kemudian dicuci hingga bersih terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada dasar daun, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Masuk ketahapan kedua dimana sampel daun bambu petung direndam dengan menggunakan HCl 1 M selama 1 jam dan kemudian dibilas dengan menggunakan aquades hingga pH sampel menjadi netral. Kemudian tahapan terakhir daun bambu petung diabukan dengan menggunakan *furnace* pada suhu 600°C selama 7 jam (suhu dan waktu dipilih berdasarkan hasil pengujian terdahulu). Hasil *furnace* selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Ekstraksi Silika Dari Abu Daun Bambu

Pada ekstraksi silika dari daun bambu petung yaitu berupa abu daun bambu petung sebanyak 30 gram dilarutkan kedalam larutan NaOH 1 M sebanyak 750 mL dan diaduk dengan menggunakan alat *magnetic stirrer* selama 7 jam pada suhu 75 °C. Hasil ekstraksi yaitu larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) dan residu daun bambu petung. Larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) dipisahkan dari residu abu daun bambu petung dan disimpan untuk dijadikan bahan baku pembuatan material Silika Mesopori dan residu daun bambu petung dibuang.

Sintesis Katalis Silika Mesopori

Pluronic 123 31,61 gram dilarutkan dalam aquades sebanyak 1328 mL dan 6,67 mL Asam asetat pekat sampai larut sempurna pada suhu kamar. Kemudian ditambahkan 118 mL Na₂SiO₃ (pastikan pH campuran adalah 6,5). Selanjutnya campuran diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 jam pada suhu 60°C. setelah itu campuran dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dipanaskan selama 24 jam pada suhu 100°C. setelah dipanaskan, campuran didiamkan untuk pendinginan. Kemudian campuran disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral, residu yang didapat kemudian dikeringkan. Setelah kering, residu dikalsinasi selama 8 jam pada suhu 550°C.

Sintesis Silika Mesopori Tersulfonasi-*Post Grafting Method*

Katalis disintesis dengan menggunakan metode *post grafting*. Dimana 3 gr Silika Mesopori tersulfonasi dan 3 mL *3-mercaptopropyl-trimethoxysilane* (MPTMS) ditambahkan ke dalam 90 mL toluen. Setelah itu campuran kemudian

direfluks dan diaduk pada suhu 105°C selama 12 jam. Kemudian padatan yang dihasilkan disaring, dicuci sebanyak tiga kali dengan metanol dan kemudian dikeringkan pada temperatur kamar. Gugus tiol diubah menjadi -SO₃H dengan oksidasi menggunakan 90 mL H₂O₂ (30 %) dengan pengadukan selama 24 jam pada temperature kamar. Padatan tersulfonasi disaring, dicuci sebanyak 3 kali dengan methanol dan dikeringkan pada temperatur kamar.

Uji Keasaman Katalis Sebelum Dan Sesudah Tersulfonasi Dengan Menggunakan *Hammett Indicator*

Sebanyak 0,02 gram katalis dimasukan kedalam gelas kimia dan ditambahkan methanol sebanyak 25 mL, kemudian ditambahkan 3 tetes indikator metil merah ditutup dengan menggunakan alumunium foil dan didiamkan selama 2 jam. Dilihat perubahan warna dari larutan dan katalis, jika larutan dan katalis berubah warna, hal ini menandakan bahwa katalis memiliki sifat keasaman (pH) yang lebih rendah dari pH indikator metil merah < 4,4, dimana rentan pH indikator yaitu 4,4 - 6,2 sebaliknya jika larutan dan katalis tidak mengalami perubahan warna, hal ini menandakan bahwa katalis memiliki sifat keasaman (pH) yang lebih tinggi dari indikator metil merah yaitu 6,2.

Karakteristik Katalis

Katalis dikarakterisasi dengan menggunakan N₂ *adsorpsi/desorption analyser*, SAXS (*Small Angle X-Ray*) dianalisa di *School of Chemistry Faculty of Science*, Monash University, Australia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi abu daun bambu petung dilakukan sesuai dengan metode penelitian Saputra (2017) yaitu pengabuan pada suhu 600°C selama 1 jam. Nilai kadar abu daun bambu petung sebesar 60% dan abu daun bambu yang dihasilkan berwarna putih. Abu daun bambu ini selanjutnya dipakai sebagai bahan pembuatan larutan Na₂SiO₃. Hasil analisa XRF abu daun bambu disajikan pada tabel 1.

Hasil XRF menunjukkan bahwa perendaman dengan HCl 1 M menghasilkan abu daun bambu dengan kandungan SiO₂ sebesar 92 %. Penggunaan asam tidak hanya berfungsi untuk menghilangkan logam pengotor saja pada daun bambu petung namun asam juga berfungsi sebagai penghidrolisis senyawa organik dalam daun bambu sebelum dilanjutkan dalam proses pengabuan [5]. Perendaman dengan HCl 1 M menurunkan kadar CaO, K₂O dan MnO.

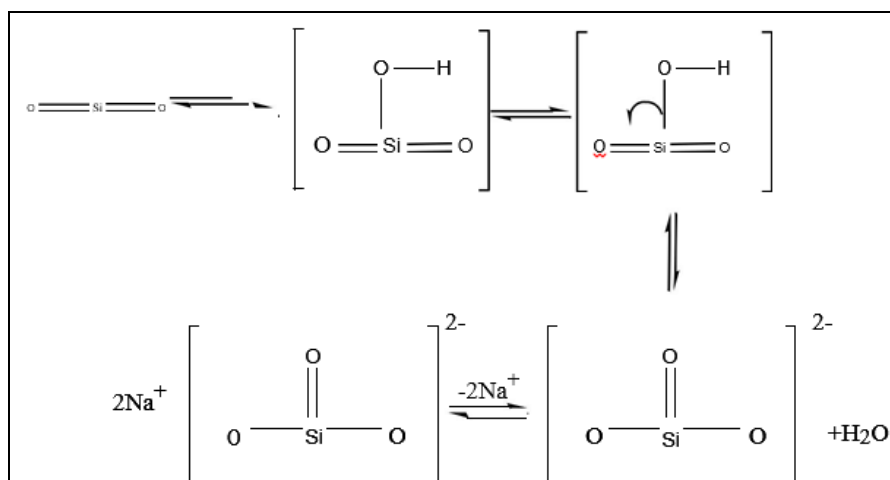
Ekstraksi Silika dari Abu Daun Bambu

Hasil ekstraksi silika dari abu daun bambu petung yaitu larutan Na_2SiO_3 yang berwarna kuning kecokelatan di mana larutan ini digunakan pada proses selanjutnya yaitu sebagai bahan utama pada proses sintesis Silika Mesopori. total sampel yang

berhasil diekstrak sebesar 64,22% dari total berat abu yang digunakan dan residu (sisa abu yang tidak terekstraksi) berwarna coklat tua. Reaksi pembentukan Na_2SiO_3 dari abu daun bambu petung ditunjukkan pada persamaan reaksi pada gambar 1.

Tabel 1. Analisa komposisi oksida logam pada abu daun bambu petung

Nama sampel	Parameter Analisa (%)							Jumlah
	Fe_2O_3	CaO	K_2O	SiO_2	MnO	P_2O_5	TB_4O_7	
Abu daun Bambu tanpa perendaman HCl	0,970	14,843	2,593	79,123	2,470	-	-	100
Abu daun Bambu dengan perendaman HCl	1,177	6,338	-	92,198	0,287	-	-	100



Gambar 1. Mekanisme reaksi ekstraksi silika [1]

Pada SiO_2 , elektronegativitas atom O yang tinggi menyebabkan Si lebih elektropositif dan terbentuk intermediat (SiO_2OH^-) yang tidak stabil, kemudian terjadi dehidrogenasi dan ion hidrosil yang kedua akan berikatan Denham hidrogen membentuk molekul air. Dua ion Na akan menyeimbangkan muatan negative yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion SiO_3^{2-} sehingga terbentuk natrium silikat (Na_2SiO_3) [1].

Sintesis Silika Mesopori

Pada pembuatan silika dari abu daun bambu petung menggunakan metode sol-gel. Prinsip kerja dari metode ini yaitu penambahan bahan pada saat matriks terbentuk sol kemudian menuju ke arah pembentukan padatan (gel) bersamaan dengan terbentuknya padatan pendukung [1]. Hasil yang didapat tahapan ini yaitu padatan putih sebesar 16 %.

Tahapan proses pembuatan Silika Mesopori dengan menggunakan P123 sebagai template terdiri dari beberapa tahap. Pada tahapan pertama yaitu

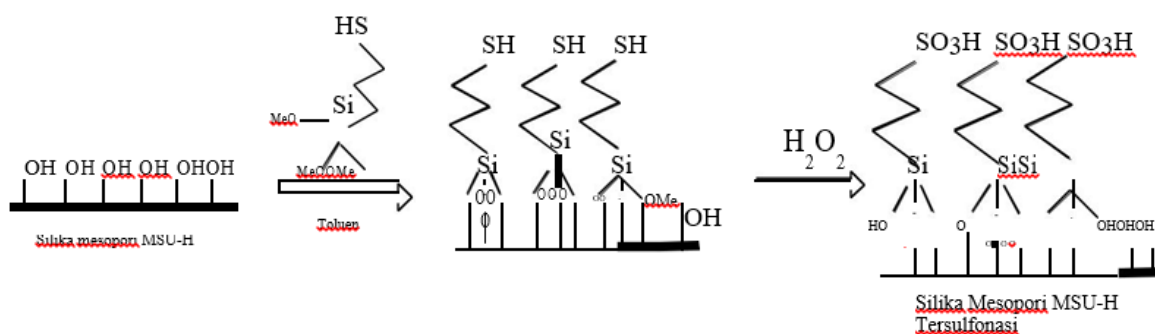
proses hidrolisis dengan menggunakan pemanasan dan penambahan asam asetat untuk membantu proses hidrolisis, pada tahap ini logam alkoksida (SiO_2) terhidrolisis dengan bantuan penambahan air sehingga menghasilkan koloid (Sol). Hal ini disebabkan oleh adanya gugus aktif silanol ($\equiv\text{Si}-\text{OH}$) dan siloksan ($\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$). Saat penambahan silika, misel akan memanjang dan membentuk pola heksagonal dengan dinding silika. Semakin meningkatnya konsentrasi SiO_2 dalam suatu sistem, maka molekul H_2O akan mengalami disosiasi menghasilkan jumlah ion hidroksida (OH^-). Proses sol menjadi gel selanjutnya disebut dengan proses kondensasi, di mana pada proses ini gugus hidrosil yang bereaksi dengan silikat membentuk jembatan Si-O-Si. Senyawa Si-OH sebagai pembentuk silika amorf sedangkan Si-O-Si sebagai pembentuk sifat kristal pada Silika Mesopori. Setelah masuk pada tahapan hidrolisis dan kondensasi selanjutnya masuk ke dalam tahapan pematangan/aging gel di mana di dalamnya terjadi proses pembentukan jaringan gel

yang kaku dan menyusut dalam larutan. Proses terakhir masuk pada tahapan pengeringan (kalsinasi) di mana gel dipanaskan pada suhu tinggi. Pada proses pemanasan ini surfaktan menguap dan terurai. Penguapan disini bertujuan untuk melepaskan larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi [6].

Sintesis Silika Mesopori Tersulfonasi-Post Grafting Method

Pada tahapan sintesis Silika Mesopori tersulfonasi digunakan metode *post grafting method* [2]. Hasil yang diperoleh pada tahap ini yaitu berupa Silika Mesopori padatan putih abu-abu. Metode *Post Grafting* merupakan suatu metode yang digunakan untuk memodifikasi permukaan silika dengan pembentukan ikatan kimia (gambar 2). Metode *Post Grafting* digunakan untuk memodifikasi material pendukung/*Support* yang memiliki sifat yang khas

seperti luas permukaan, stabil secara termal dan *inert*. 3-mercaptopropyl trimethoxysilane (MPTMS) berfungsi sebagai jembatan, di mana gugus hidroksil (-OH) pada gugus silane (Si-O-Si) akan menggantikan gugus metoksi (OCH₃) pada MPTMS. Pembentukan ikatan kovalen antara MPTMS dan Silika Mesopori dilakukan dengan menggunakan pelarut *toluen*. Hasil dari modifikasi berupa padatan putih abu-abu kemudian dioksidasi dengan penambahan H₂O₂ (30 %). Pada proses oksidasi dengan H₂O₂ gugus tiol (-SH) teroksidasi menjadi gugus sulfonat (-SO₃H). Gugus Metoksi (OCH₃) yang tersisa kemudian dihilangkan dengan cara pencucian menggunakan metanol (Pirez *et al.*, 2012). Pada proses penambahan gugus SO₃H, diharapkan mampu memberikan suasana asam pada silika yang dapat digunakan dalam esterifikasi CPO. Secara fisik modifikasi Silika Mesopori dengan gugus SO₃H pada pori-pori silika dapat diindikasikan dengan bertambahnya berat dari silika sebesar 50 %.



Gambar 2. Reaksi pembentukan katalis heterogen tersulfonasi

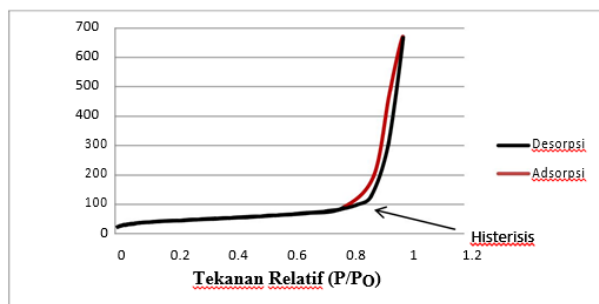
Analisa Hammett Indicator Silika Mesopori dan Silika Mesopori Tersulfonasi

Pengujian keasaman material Silika Mesopori dengan menggunakan indikator *Hammett (Metylen Red)*. Uji keasaman material Silika Mesopori dengan *Metylen Red* menunjukkan tidak ada perubahan warna larutan indikator. Hasil ini menunjukkan bahwa Silika Mesopori sebelum tersulfonasi memiliki rentang pH di atas 4,4–6,2. Sedangkan pada uji keasaman Silika Mesopori tersulfonasi diamati terjadi perubahan warna larutan indikiator menjadi merah muda dalam hal ini mengindikasikan bahwa Silika Mesopori tersulfonasi memiliki keasaman dibawah 4,4–6,2. Perbedaan keasaman material Silika Mesopori sebelum dan sesudah tersulfonasi ini mengindikasikan bahwa Silika Mesopori telah termodifikasi gugus -SO₃H yang berperan sebagai situs asam.

Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

Adsorpsi nitrogen merupakan adsorpsi fisik yang digunakan dalam metode BET untuk menentukan total luas permukaan dan struktur pori suatu padatan. Persamaan BET hanya dapat digunakan untuk adsorpsi isoterm yang mempunyai nilai P/P₀ berkisar antara 0,05 sampai 0,3 [6]. Isoterm linier dari sistem adsorpsi-desorpsi nitrogen silica mesopori pada abu jagung ditunjukkan pada gambar 3. Gambar tersebut merupakan gratin jumlah adsorpsi nitrogen terhadap tekanan relatif P/P₀. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa isoterm adsorpsi nitrogen pada sampel Silika Mesopori Silika Mesopori menunjukkan kenaikan volume N₂ teradsorpsi secara cepat pada tekanan relatif (P/P₀) rendah, kemudian naik secara perlahan pada pertengahan dan naik lagi dengan cepat pada P/P₀ mendekati satu. Kenaikan pertama terjadi karena molekul gas yang teradsorpsi bereaksi dengan daerah

yang berenergi pada permukaan padatan. Pada pengisian ini telah terbentuk lapisan tunggal, kemudian pada daerah P/P_0 yang lebih tinggi, penambahan molekul gas ini terjadi pada permukaan yang telah ditempati molekul gas di mana telah terbentuk lapisan tunggal. Pada penambahan ini terbentuk lapisan berlapis (*Multilayer*) dan pada akhir pengisian, terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorpsi, selain itu juga terlihat adanya *loop* histerisis pada daerah pertengahan [7]. Isoterm ini merupakan isoterm tipe IV yaitu jenis adsorpsi dari padatan berpori meso, yang memiliki ukuran pori 2-50 nm [8]. Adanya pori pada permukaan padatan akan memberika efek pembatasan jumlah lapisan pada adsorbat dan terjadi fenomena kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler ini menyebabkan terjadi histerisis [7].

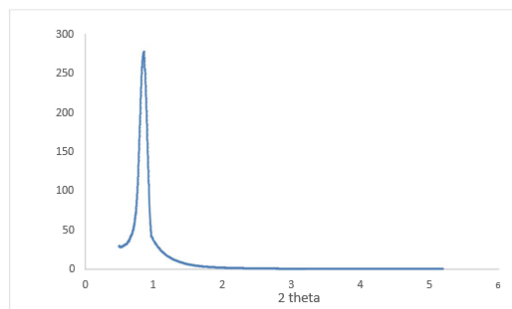


Gambar 3. Isoterm adsorpsi/desorpsi N_2 silika mesopori

Bentuk kurva isoterm N_2 adsorpsi/desorpsi menunjukkan tahapan kondensasi dan hidrolisis berjalan tidak sempurna. Hasil pengujian menunjukkan luas permukaan sampel (dihitung dengan metode BET) adalah $150 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $1,03 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan diameter pori sampel adalah $2,75 \text{ nm}$.

Tabel 2. Perbandingan hasil karakterisasi *adsorpsi/desorpsi* N_2 silika mesopori dari abu daun bambu petung dan silika mesopori dari TEOS (Tetraetilortosilikat)

Material	Volume Pori (cm^3/g)	Luas Permukaan (m^2/g)	Diameter Pori (nm)
Silika mesopori dari abu daun bambu	1,03	150	27,5



Gambar 4. Pola difraktogram silika mesopori abu daun bambu

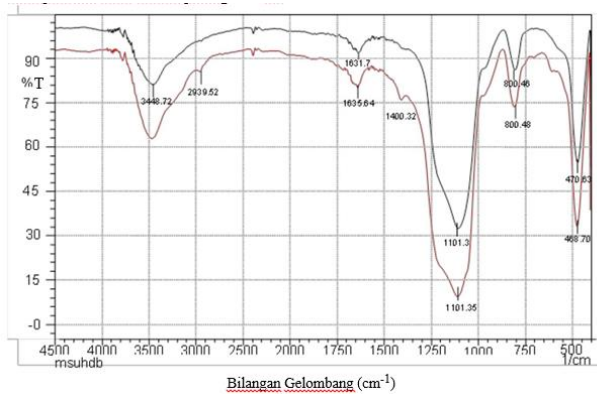
Analisa dengan menggunakan *Small Angel X-Ray Diffraction* (SAXS). Dapat dideteksi puncak pada sudut 2 antara $0^\circ - 5^\circ$, selain itu dapat juga digunakan untuk mendeteksi kisi kristal, mengetahui tingkat kristalinitas dan nilai indeks miller [9].

Berdasarkan analisa SAXS silika mesopori MSU-H dari abu daun bambu petung diamati terdapat satu puncak pada slot $<1^\circ 2$ (gambar 4). Hasil yang didapat ini berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya [10] di mana pada difraktogram Silika Mesopori dari TEOS muncul tiga puncak dengan indeks miller (100), (110) dan (200). Puncak dengan intensitas rendah dengan nilai indeks miller (110) dan (200) tidak diamati pada difraktogram Silika Mesopori abu daun bambu petung. Hal ini dikarenakan stuktur heksagonal dari material yang dihasilkan kurang teratur. Material yang dihasilkan memiliki diameter pori yang tidak homogen dan dimungkinkan karena proses hidrolisis dan kondensasi pada pembuatan silika mesopori tidak sempurna.

Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Spektroskopi *Infra-Red* (IR) adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada penyerapan sinar inframerah. Fungsi utama dari spektroskopi inframerah adalah untuk mengenal struktur molekul (gugus fungsional)

Untuk memastikan masuknya gugus H-SO_3 pada pori-pori dari silika dapat dilihat dari hasil analisa FTIR. Berikut spektrum FT-IR dari Silika Mesopori dan Silika Mesopori Tersulfonasi ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Spektra FT-IR silika mesopori dan silika mesopori tersulfonasi

Hasil karakteristik data spektrum FT-IR (tabel 3) memberikan informasi adanya puncak serapan yang terdapat pada daerah bilangan gelombang 3448 cm^{-1} yang menandakan adanya vibrasi *stretching* gugus hidroksil (-OH) dan menunjukkan ikatan Si-OH (Silanol). Serapan pada daerah bilangan gelombang 1631 cm^{-1} merupakan vibrasi dari gugus H-O-H, pada bilangan gelombang 1101 cm^{-1} merupakan vibrasi dari gugus Si-O, dan pada bilangan gelombang 800 cm^{-1} merupakan vibrasi dari gugus Si-O-Si. Sedangkan hasil dari karakteristik data spektrum FT-IR Silika Mesopori tersulfonasi adanya puncak serapan yang terdapat pada daerah bilangan gelombang 3448 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus hidroksil (-OH) dan menunjukkan ikatan Si-OH (Silanol). Serapan pada daerah bilangan gelombang 1635 cm^{-1} merupakan vibrasi dari gugus H-O-H, pada daerah bilangan gelombang 1400 cm^{-1} merupakan gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ menunjukkan adanya sulfonat, pada bilangan gelombang 1101 cm^{-1} merupakan vibrasi dari gugus Si-O dan pada bilangan gelombang 800 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus Si-O-S. Dengan adanya serapan panjang gelombang gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ pada hasil analisa FT-IR Silika Mesopori tersulfonasi, maka dapat disimpulkan bahwa proses modifikasi Silika Mesopori telah berhasil dilakukan.

Tabel 3. Karakteristik hasil analisa FT-IR silika mesopori dan silika mesopori tersulfonasi

Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm^{-1})		
	Serapan (literature)	Silika mesopori	Silika mesopori tersulfonasi
O-H	3300-3750 [3]	3448	3448
H-O-H	1600-1700 [11]	1631	1635
$-\text{SO}_3\text{H}$	1330-1420 [12]	-	1400
Si-O	1000-1250 [13]	1101	1101
Si-O-Si	804-1080 [14]	800	800
Si-O-Si	450-470 [3]	470	468

KESIMPULAN

Silika Mesopori abu daun bambu petung memiliki luas permukaan sebesar $150 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $1,03 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan diameter pori 27,5 nm. Silika Mesopori abu daun bambu petung memiliki struktur *amorf* diindikasikan dari munculnya puncak pada difraktogram di $0-5^\circ$. Analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) Silika Mesopori sebelum tersulfonasi menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si dan Si-OH dan setelah tersulfonasi menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si, Si-O, Si-OH dan $-\text{SO}_3\text{H}$.

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan aplikasi katalis Silika Mesopori tersulfonasi pada proses esterifikasi pembuatan biodisel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Alan L Chasse dari Monash University, Australia atas bantuan dalam menganalisa sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priyanto, A., Ilmu, F., Dan, T., Islam, U., A.Walisongo, N. 2015. *Sintesis dan aplikasi silika dari abu daun bambu petung (Dendrocalamus asper (Schult. f.) Backer ex Heyne) untuk mengurangi kadar ammonium dan nitrat pada limbah cair tahu*. Skripsi. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo.
- [2] Pirez, C., A. F. Lee., C. Manayil., C. M. Parlett., C. K. Wilson. 2012. *Hydrothermal saline promoted grafting : a new route to sulfonic acid SBA-15 silica with ultra-high acid site loading for biodiesel synthesis*. *Green Chemistry* : 16 : 4506-4509.
- [3] Alfaruqi, M. H. 2008. *Pengaruh konsentrasi hidrogen klorida (HCl) dan temperatur perlakuan hidrotermal terhadap kristalinitas material mesopori silika SBA-15*, 5– 18.
- [4] Nasikin, M dan Susanto, B. H. 2010 *Katalis Heterogen*, Edisi Pertama, Penerbit Universitas Indonesia.
- [5] Chakravert, A., Mishra, P., and Banerjee, H. 1998 “*Investigation of raw and acid-leached rice husk for pure amorphous white silica*”. *Journal of Material Sciene*, 23(1). 21-24.
- [6] A. Maleki, M. Hamidi. 2017 *Mesoporous Silica Materials: From Physio-Chemical Properties to Enhanced Dissolution of Poorly Water-Soluble Drugs*. *Journal of Controlled Release Journal of Material Sciene*, University

- Italy Expert Opin. Drug Deliv. 13 (2016) 171–81.
- [7] Adamson AW. 1990, Physical Chemistry of Surfaces, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [8] Gregg SJ & Sing KSW. 1982. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2nd Edition, London: Academic Press.
- [9] Dai, W., Zhou, Y., Li, S., Li, W., Su, W., Sun, Y., Zhou, L. 2006. *Thiophene capture with complex adsorbent SBA-15/Cu(I)*. Ind. Eng. Chem. Res. 45, 7892–7896.
- [10] Bae, J.A. Hwang Hee Hwang, Ki-Chang Song. 2010. Synthesis of Functionalized Mesoporous Material with Various Organo-Silanes.
- [11] Taffarel, S. D. Rubio. *Adsorption of sodium dodecyl benzene for zeolite, 4th ed.* New York. Elsevier Science Publisher. B.V.
- [12] Lois, P. E. 2015. *Sintesis surfaktan metil ester sulfonat dari metil ester minyak biji ketapang (Terminalia catappa Linn.) melalui reaksi sulfonasi pada berbagai jumlah metanol*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Mulawarman.
- [13] Silverstein, R. M., Bassler, G. C., Morrill, T. C. 2001. *Spectrometric identification of organic compounds*, 5th ed. New York. John Willey & Sons.
- [14] Cheng, Y.W. 2005. *Preparation and characterization of nanosized ZSM-5 Zeolite in the absence of organic template*. Materials Letters. Volume 59: 3427-3430.