PEMANFAATAN ABU DAUN JAGUNG (*Zea Mays*) SEBAGAI SUMBER SILIKA PADA PEMBUATAN KATALIS Na/ SBA- 15 UNTUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JELANTAH

UTILIZATION OF CORN FLOW AMERICA (*Zea Mays*) AS A SOURCE OF SILICA ON THE MAKING OF Na / SBA-15 CATALYSTES FOR TRANSESTERIFICATION REACTION OF OIL JELANTAH

Drajat Bangun P U, Nasri, RR Dirgarini Julia N S* dan Rahmat Gunawan

Progam Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No.4 Kampus Universitas Mulawarman, Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

*Corresponding Author : dirgarini_julia@yahoo.com

Submit : 05 Mei 2018 Accepted : 18 Oktober 2018

ABSTRACT

Preparation of Na / SBA-15 from corn leaves ash (*Zea mays*) as a substitute for TEOS (*Tetraethyl Orthosilicate*) applied as a heterogeneous catalyst in the transesterification reaction of used palm oil and methanol has been performed. The preparation of SBA-15 was conducted by surfactant template method and modification with Na was conducted by impregnation method. SBA-15 from corn leaves ash has a pore size ranging from 4.9 nm to 9.3 nm, a surface area of 595 m²/ g, a pore diameter of 3.95 nm and a pore volume of 0.99 cm³/ g. The yeild obtained from the first transesterification process was 96.46% with the free fatty acid content of the product 0.16 mg KOH/ g. The two most prominent methyl ester based on the chromatogram of the transesterification product, the two most prominent methyl ester in the product were methyl palmitate (36,32%) and methyl oleat (36,15%).

Keywords : Maize, SBA-15, TEOS (*Tetraethyl Orthosilicate*), Transesterification of used palm oil

PENDAHULUAN

Limbah daun jagung yang melimpah tidak dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan daun jagung untuk bahan campuran ternak sapi dan menjadi limbah. Kandungan silika pada daun jagung 64,62% dengan kadar abu 12,15% [1]. Tingginya kandungan SiO₂ yang terdapat dalam daun jagung, berpotensi dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan material mesopori.

Minyak jelantah belum dimanfaatkan dengan baik, sebagai limbah rumah tangga atau industri pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel akan memberikan nilai tambah bagi minyak jelantah [2]. Katalis mempunyai peran penting dalam proses pembuatan biodiesel, katalis yang biasa digunakan adalah katalis basa homogen yang relatif sulit dipisahkan dari produknya, seperti NaOH dan KOH [3] untuk itu perlu dilakukan pengembangan katalis basa heterogen yang mempunyai fasa berbeda dengan reaktan dan produk, sehingga mudah untuk dipisahkan.

Salah satu material mesopori adalah SBA-15. *Santa Barbara Acid 15* (SBA-15) adalah material mesopori dengan struktur heksagonal yang teratur. SBA-15 memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar serta volume mikropori yang substansial [4][5], sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben [6] dan pengemban katalis [7]. Material SBA-15 memiliki diameter pori halus antara 5-15 nm, ketebalan dinding kerangka 3,1 – 6,4 nm, yang memberikan materi hidrotermal lebih tinggi dan stabilitas untuk mekanik [8].

Prekursor yang sering digunakan untuk sintesis silika gel adalah TEOS (*Tetraethyl Orthosilicate*), TEOS digunakan sebagai sumber silika (SiO₂) [9], mahalnnya harga TEOS dan sifatnya tidak ramah lingkungan, perlu dikembangkan material sebagai sumber silika pengganti TEOS.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian dilakukan dengan tujuan pemanfaatan abu daun jagung (*Zea Mays*) sebagai

bahan baku pembuatan silika mesopori SBA- 15, kemudian modifikasi pada permukaan silika mesopori SBA- 15 dengan penambahan Na yang berfungsi sebagai situs aktif dari material tersebut. Katalis Na/ SBA-15 akan digunakan pada proses transesterifikasi minyak jelantah dengan metanol.

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Daun jagung (*Zea mays*) yang terkumpul dicuci, kemudian dikeringkan anginkan pada suhu ruang, selanjutnya direndam menggunakan HCl 1 M selama 1 jam, setelah itu dibilas dengan akuades hingga pH netral (sesuai pH akuades), kemudian daun jagung dikeringkan.

Ekstraksi Silika dari Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Daun jagung *difurnace* pada suhu 600°C selama 7 jam. Abu yang diperoleh kemudian dilarutkan dengan NaOH 1 M sebanyak 550 mL dan diaduk selama 7 jam pada suhu 75°C, kemudian campuran disaring untuk memisahkan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan residu. Larutan Na_2SiO_3 disimpan sebagai bahan baku dalam pembuatan silika mesopori SBA- 15.

Sintesis SBA- 15 dari Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Bahan yang digunakan adalah 4 gr Pluronic 123 dilarutkan ke dalam 125 mL HCl 2 M dengan pengadukan pada suhu 37°C - 40°C, kemudian ditambahkan dengan Na_2SiO_3 sesuai dengan persen SiO_2 sampel daun jagung, kemudian diaduk selama 24 jam pada suhu 37°C - 40°C, setelah itu campuran dipanaskan pada suhu 100°C selama 24 jam. Proses ini disebut sebagai proses *aging*, setelah proses *aging*, campuran di dinginkan pada suhu kamar kemudian dicuci dengan akuades dan disaring. Produk kemudian dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 550°C selama 5 jam [10].

Impregnasi Natrium pada Silika Mesopori SBA- 15 dari Daun Jagung (*Zea Mays*)

Natrium Carbonat (Na_2CO_3) 0,1453 gr dimasukkan ke dalam 2,5 gr silika mesopori SBA- 15 (2,5% Na dengan SBA- 15 (b/b)), kemudian campuran distirer selama 24 jam, kemudian produk yang telah dihasilkan dikeringkan pada suhu 120°C selama 4 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Produk yang dihasilkan adalah Na/ SBA-15 yang akan digunakan sebagai katalis.

Karakterisasi silika Mesopori SBA- 15 dan Na/ SBA-15

Katalis silika mesopori Na/ SBA- 15 dari limbah abu daun jagung yang telah diperoleh, kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen *Adsorption/ Desorption Nitrogen (N_2)*, *Small Angle X-Ray* (SAXS) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah

Minyak jelantah dilarutkan dalam metanol 95%. Metanol ditambahkan minyak, kemudian diaduk dan dipanaskan suhu 40°C, setelah itu didinginkan. Kemudian ditambahkan dengan indikator fenolftalein (PP) dan dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N hingga warna merah lembayung.

Transesterifikasi Minyak Jelantah dengan Katalis Na/ SBA- 15

Transesterifikasi dilakukan dengan labu leher 3 dengan kapasitas 250 mL. Minyak jelantah (40 gr, 30gr dan 20 gr) dimasukkan, kemudian dipanaskan pada suhu 30°C selama 15 menit, setelah itu ditambahkan metanol (metanol : minyak jelantah yaitu 1 : 9), kemudian ditambahkan katalis silika mesopori Na/ SBA- 15 sebanyak 2% (b/b) lalu dipanaskan pada suhu 60°C selama 8 jam. Setelah proses berakhir dimasukkan ke dalam corong pisah, kemudian didiamkan sampai membentuk 2 lapisan.

Karakterisasi Produk Transesterifikasi

Produk yang dihasilkan dari proses transesterifikasi kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan GC- MS yang berfungsi untuk menganalisa komposisi senyawa yang terdapat pada produk secara kuantitatif.

Uji Kebasaan Katalis Na/ SBA- 15 dengan Hammett Indicator

Kekuatan basa katalis diuji menggunakan *Hammett indicator*. *Hammett indicator* yang digunakan: *phenolphthalein* ($H_- = 8,6$) dari tidak berwarna menjadi pink, *2,4-Dinitroaniline* ($H_- = 15$) dari kuning menjadi ungu dan *4-Nitroaniline* ($H_- = 18,4$) dari kuning menjadi orange. Sekitar 25 mg sampel katalis dikocok dengan 1 mL larutan *Hammett indicator* yang diencerkan dalam 10 mL metanol dan didiamkan hingga setimbang selama 2 jam Indikator menunjukkan perubahan warna, maka katalis lebih kuat kebasannya dari pada indikator dan jika tidak katalis lebih lemah kebasannya dari pada indikator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Preparasi Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Tahap preparasi dengan perendaman HCl 1 M dan suhu pengabuan 600 °C diperoleh kadar SiO₂ sebesar 86,673%. Pengabuan pada temperatur tinggi berfungsi untuk menghilangkan senyawa organik yang terdapat dalam daun

jagung, sehingga diharapkan yang tertinggal hanyalah senyawa anorganiknya seperti oksida logam (Fe₂O₃, MnO, SiO₂ dan K₂O). Kandungan oksida logam abu daun jagung diperoleh dari analisa *X-Ray Fluorescence Spectrometry* (XRF). Hasil analisa XRF abu daun jagung sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisa XRF Abu Daun Jagung

NO	Nama Sampel	Parameter Analisa (%)							Jumlah
		Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	TB ₄ O ₇	
1.	Abu daunjagung (tanpaperendaman HCl 1 M)	0,988	10,019	51,946	21,844	1,712	13,329	0,161	100
2.	Abu daunjagung (perendamanHCl 1M)	1,262	3,300	1,971	86,673	0,309	6.484	-	100

Sintesis SBA- 15 dari Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Sintesis SBA-15 dilakukan menggunakan modifikasi metode *microemulsion template*. Produk yang diperoleh berupa serbuk halus berwarna putih dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan katalis Na/ SBA-15. Produk dikarakterisasi menggunakan *Adsorption/ Desorption Nitrogen (N₂) analyser* dan *Small Angel X-Ray (SAXS)*.

(material penyangga). Produk yang diperoleh adalah Na/ SBA-15.

Karakterisasi silika Mesopori SBA-15 dan Na/ SBA-15

Material SBA-15 dari abu daun jagung dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, *Adsorption/ Desorption Nitrogen (N₂) analyser*, *Small Angel X-Ray (SAXS)* dan *X-Ray Diffraction (XRD)*.

Ekstraksi Silika dari Limbah Daun Jagung (*Zea Mays*)

Hasil ekstraksi silika abu daun jagung pada tahap ini diperoleh larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) yang berwarna kuning kecoklatan sebanyak 120 mL, dimana larutan tersebut akan digunakan sebagai sumber silika pengganti TEOS (*tetraethyl orthosilicate*) yang memiliki harga mahal dan tidak ramah lingkungan. Adapun reaksi yang terjadi dalam pembentukan natrium silikat (Na₂SiO₃) sebagai berikut:

Gambar 2. Reaksi Pembentukan Natrium Silikat

Impregnasi Natrium pada Silika Mesopori SBA- 15 dari Daun Jagung (*Zea Mays*)

Impregnasi natrium pada silika mesopori SBA-15 dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi basah. Impregnasi digunakan untuk menempelkan situs aktif Na pada support

Karakterisasi Silika Mesopori SBA-15 Adsorption/Desorption Nitrogen (N₂) Analysis

Analisis *adsorption/ desorption nitrogen (N₂)* digunakan untuk mengetahui porositas dan luas permukaan dari material SBA-15. Isoterm *adsorption/ desorption nitrogen (N₂)* material SBA- 15 dari abu daun jagung dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3. Isoterm Adsorpsi/ Desorpsi Nitrogen (N₂)

Isoterm adsorpsi/desorpsi nitrogen (N_2) pada gambar 2 termasuk dalam isoterm tipe IV yang merupakan ciri dari material silika mesopori menurut Subagyono [11]. Karakterisasi ini menunjukkan bahwa luas permukaan SBA- 15

adalah $595 \text{ m}^2/\text{g}$ (menggunakan metode perhitungan BET), dengan volume pori sebesar $0,99 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan diameter pori sebesar $3,95 \text{ nm}$.

Tabel 2. Perbandingan Luas Permukaan, Diameter Pori dan Volume Pori Silika Mesopori SBA- 15 dari TEOS dan SBA- 15 dari Abu Daun Jagung

	Luas permukaan (m^2/g)	Diameter pori (cm^2/g)	Volume pori (nm)	Referensi
SBA- 15 dari TEOS	723 - 862	4,9 - 6,8	0,77 - 0,89	Subagyono, 2011
SBA- 15 dari daun jagung	595	3,95	0,99	Pirez, 2012

Distribusi pori pada material SBA- 15 dari abu daun jagung yang telah disintesis pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.

Gambar 4. Ukuran Pori SBA- 15 Abu Daun Jagung

Gambar. 4 mengindikasikan bahwa material SBA- 15 dari abu daun jagung yang disintesis mempunyai ukuran pori-pori SBA- 15 yang homogen berkisar $4,9 \text{ nm} - 9,3 \text{ nm}$. Hal ini dapat dilihat dari puncak runcing yang dihasilkannya, serta memiliki ukuran yang homogen.

Small Angle X-Ray (SAXS)

Silika mesopori SBA- 15 abu daun jagung dikarakterisasi dengan *Small Angel X-Ray* (SAXS) bertujuan untuk mengetahui kisi kristal dan nilai indeks miller. Difaktogram SBA- 15 dari abu daun jagung dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5. Difaktogram SBA- 15 dari Abu Daun Jagung

Gambar 5 menunjukkan difaktogram SBA- 15 dari abu daun jagung mempunyai kemiripan dengan difraktogram SAXS SBA- 15 dari TEOS Subagyono [11], dimana terdapat puncak intensitas yang kuat yaitu indeks (100) dan dua puncak yang lemah antara 0,5 dan 2 theta yaitu indeks (110) dan (200).

Karakterisasi silika Mesopori Na/ SBA- 15 Untuk mengetahui tingkat kebasaaan material Na/ SBA- 15, maka dilakukan uji dengan *hammett indicator*. *Hammet indicator* yang digunakan antara lain *phenolphthalein* ($H_- = 8,6$) dari tidak berwarna menjadi pink, *2,4-Dinitroaniline* ($H_- = 15$) dari kuning menjadi ungu dan *4-Nitroaniline* ($H_- = 18,4$) dari kuning menjadi orange. Hasil uji dengan menggunakan *hammett indicator* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kebasaan dengan Menggunakan *Hammett Indicator*

No	Material	<i>Phenolphthalein</i>	<i>2,4-Dinitroaniline</i>	<i>4-Nitroaniline</i>
1.	SBA- 15	Tidak ada perubahan warna	Tidak ada perubahan warna	Tidak ada perubahan warna
2.	Na/ SBA- 15 (sebelum digunakan)	Berwarna pink	Tidak ada perubahan warna	Tidak ada perubahan warna

X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi dengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui kristanilitas material SBA- 15 setelah diimpregnasi dengan

menggunakan Na (Na/ SBA- 15). Semakin tinggi intensitas puncak, maka struktur materialakan semakin bersifat amorf.

Gambar 6. Difaktrogram Na/ SBA- 15 dari Abu Daun Jagung

Tabel 4. Intensitas Terkuat Terhadap Sudut 2 Theta (deg)

Table 4. Intensitas Perkuat Pemadap Sudut 2 Theta (deg)							Integrated
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Int (Counts)
1	11	22.2111	3.99913	100	0.00000	42	0
2	10	21.2532	4.17716	86	0.00000	36	0
3	12	23.1692	3.83588	81	0.00000	34	0

Tabel 5. Nilai indeks Millers SiO₂ dan Na pada Difraktogram Na/SBA-15

Peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	Intensity (Counts)	Indeks Miller
SiO ₂					
19	36.0833	2.48718	12	5	110
24	42.8089	2.11071	7	3	200
26	45.3676	1.99743	5	2	201
31	50.1755	1.81672	12	5	112
35	55.5636	1.65263	2	1	103
38	62.3815	1.48738	7	3	113
41	65.4406	1.42506	5	2	300
42	68.1899	1.37415	5	2	203
47	72.8288	1.29763	5	2	104
50	75.7381	1.25485	7	3	302
54	83.7162	1.15437	2	1	311
55	84.6760	1.14372	5	2	204
Na					
22	39.2311	2.29311	5	2	111
30	49.2859	1.84741	7	3	112
36	60.3121	1.53337	7	3	212
40	64.5109	1.44333	14	6	113

Berikut ini adalah gambar7 letak titik yang mengindikasikan SiO_2 dan Na pada SBA- 15 dari abu daun jagung berikut nilai indeks miller:

Gambar7. Difraktogram Na/ SBA- 15 dari Abu Daun Jagung berserta Nilai Indeks Miller SiO_2 dan Na

Transesterifikasi Minyak Jelantah dengan Katalis Na/ SBA- 15

Proses transesterifikasi menggunakan katalis heterogen basa, yaitu Na/ SBA- 15, dimana pada proses transesterifikasi ini Na/ SBA- 15 memiliki peran sebagai katalis yang dapat mempercepat reaksi transesterifikasi dari metanol dan minyak jelantah. Proses ini dilakukan dengan

menggunakan rasio molar minyak dan metanol 1 : 9 selama 8 jam pada suhu 60°C .

Karakterisasi Produk dengan Menggunakan FT- IR

Hasil produk lapisan bawah pada proses transesterifikasi dianalisa menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi senyawa pada produk ini.

a.

Gambar 8. a. Spektrum FTIR Minyak Jelantah **b.**Spektrum FTIR Produk Transesterifikasi Menggunakan Katalis Na/SBA -15 dari Abu Daun Jagung

Tabel.6 Hasil Analisa FTIR Hasil Transesterifikasi Minyak Jelantah dan Metanol

Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹) Spektrum Literatur (Sastrohamidjojo, 1992)	Produk Transesterifikasi (cm ⁻¹)	Minyak Jelantah (cm ⁻¹)
=CH	650 – 1000	588,29	459,06
		723,31	586,36
		877,61	723,31
			968,27
C-O	1000 – 1320	1016,49	
		1168,86	1163,08
		1197,79	1236,37
		1244,09	
CH ₃	1375 – 1450	1375,25	1373,32
CH ₂	1465	1438,90	1460,11
		1462,04	
C=O	1720 – 1740	1743,65 (lebih tajam)	1747,51
-C-H	2850 – 2999	2679,13	2679,13
		2852,72	2852,72
		2924,09	2924,09
O-H	3200 – 3500	3468,01	3473,80

Karakterisasi Produk dengan Menggunakan Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

Karakterisasi menggunakan GC-MS berfungsi untuk mengetahui komposisi senyawa

yang terdapat dari produk proses transesterifikasi yang diduga mengandung metil ester.

Gambar 9. Kromatogram Produk pada Proses Transesterifikasi 1

Berdasarkan gambar 9 senyawa yang teridentifikasi dari kedua produk adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Komposisi Senyawa dari Produk Proses Transesterifikasi

Nama Ester	Transesterifikasi		
	Peak	Waktu Retensi	% Area
Miristat	1	34,350	1,46
Palmitoleat	2	38,317	0,58
Palmitat	3	38,859	36,32
Linoleat	4	42,197	15,99
Oleat	5	42,396	36,15
Stearat	6	42,794	9,00

Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah

Uji kadar asam lemak bebas minyak jelantah ini bertujuan untuk mengetahui asam lemak bebas yang masih terkandung dalam minyak jelantah sebelum ataupun setelah melalui proses transesterifikasi. Produk transesterifikasi dengan menggunakan katalis Na/ SBA- 15, dimana kadar asam lemak bebas minyak jelantah sebesar 0,199 mgKOH/ gr, kemudian setelah dilakukan proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis Na/ SBA- 15 kadar asam lemak tersebut mengalami penurunan yaitu 0,166 mgKOH/ gr. Penurunan kadar ALB menunjukkan bahwa katalis yang digunakan telah mengkonversi sebagian besar asam lemak bebas menjadi metil ester, dengan persen rendemen sebesar 96,06%.

KESIMPULAN

Pemanfaatan abu daun jagung sebagai sumber silika dapat digunakan sebagai pengganti TEOS (*Tetraethyl Orthosilicate*) serta dapat digunakan sebagai katalis silika mesopori Na/ SBA- 15 pada proses transesterifikasi minyak jelantah dan metanol. Karakteristik fisik dari Na/

SBA- 15 berupa padatan berwarna putih dan karakteristik kimia dengan luas permukaan 595 m²/ g, volume pori 0,99 cm³/ g, diameter pori 3,95 nm, setelah dimodifikasi dengan Na dan dikarakterisasi dengan XRD muncul puncak 39,2311, 49,2859, 60,3121 dan 64,5109 pada sudut 2 theta (deg) yang menandakan adanya Na dan kristanilitas Na/ SBA-15 sebesar 29,1032%. Na/ SBA- 15 dapat digunakan sebagai katalis pada proses transesterifikasi minyak jelantah dengan persen rendemen 96,06%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Alan L. Chaffe dari School of Chemistry, Faculty of Science, Monash University, Australia yang telah membantu dalam karakterisasi Material Na/ SBA- 15.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudjana, A., A. Rifin, dan M. Sudjadi. 1991. *Jagung. Bul. Teknik No.4*. Balai Penelitian Tanaman Pangan. Bogor.
- [2] Hambali E, Mujdalipah S, Tambunan AH, Pattiwiri AW, Hendroko R. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- [3] Xie, W, dan Huang X. 2006. *Soybean oil Methyl Esters Preparation Using NaX Zeolites Loaded with KOH*. Journal School of Chemistry and Chemical Engineering, 936-939.
- [4] Bhattacharya, S., Coasne, B., Hung, F.R., dan Gubbins, K.E. 2007. *Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 160* (Eds.: P. L. Llewellyn, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol, N. Seaton), Elsevier, France, pp. 527.

- [5] Calvillo, L., Celorio, V., Moliner, R., Cabot, P.L., Esparbé, I. dan Lázaro, M.J. *Microporous and Mesoporous Materials* 2008, 116, 292.
- [6] Hiroyoshi, N, Yogo, K, dan Yashima, T. 2005. *Microporous and Mesoporous Materials*, 84, 357.
- [7] Lee, D. W; Park, Y. M. dan Lee, K. Y. (2004). *Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis*. CatalSurv Asia. 13:63–77.
- [8] Voort, P. V. D. 2002. *A New Templated Ordered Structure with Combined Micro- and Mesopores and Internal Silica Nanocapsules*. The Journal of Physical Chemistry 106: 5873-5877.
- [9] Schubert, U., dan Housing, E. 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*, Wiley-VCH. Federal Republic of German.
- [10] Nasri. 2018. *Sintesis Silika Mesopori SBA-15 Tersulfonasi dari Abu Daun Jagung (Zea mays L) sebagai Katalis Esterifikasi Crude Palm Oil (CPO)*. Samarinda: FMIPA Unmul.
- [11] Dirgarini J.N Subagyono, Zhijian Liang, Gregory P. Knowles, Alan L, Chaffe. 2011. *Amine Modified Mesocellular Siliceous foam (MCF) as a sorbent for CO₂*, Chemical Engineering Research & Design, Vol 89, issue 9, PP. 1647-1657.