

KARAKTERISASI SAXRD, ADSORPSI-DESORPSI N₂ DAN TEM PADA KARBON MESOPORI DARI GELATIN TULANG SAPI

Maria Ulfa *

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sebelas Maret

*email: mariaulfa_8@yahoo.com

Received 10 October 2016

Accepted 30 November 2016

Abstrak

Artikel ini mengkaji hubungan hasil karakterisasi dengan kualitas karbon mesopori gelatin (CMG). Karbon mesopori gelatin (CMG) disintesis menggunakan silika mesopori SBA-15 sebagai cetakan, gelatin sebagai sumber karbon dan asam sulfat sebagai katalis dalam proses karbonisasi. Tahap sintesis terdiri dari infiltrasi sumber karbon ke dalam cetakan diikuti karbonisasi selama 6 jam pada suhu 110 dan 160 °C, dilanjutkan dengan pirolisis pada kondisi inert suhu 900 °C selama 3 jam dan diakhiri pelepasan cetakan dengan HF. Kualitas struktur karbon mesopori teramati dengan jelas baik pada TEM, SAXRD dan adsorpsi-desorpsi N₂. Dari hasil SAXRD, TEM dan nitrogen adsorpsi-desorpsi, karbon mesopori hasil sintesis memiliki luas permukaan spesifik dari 756 m²/g, total volume pori 0,999 cm³/g, rasio mesopori terhadap mikropori 81%, diameter pori rata-rata 5,2 nm dan distribusi ukuran pori 4,06 dengan geometri mirip susunan tabung dengan formasi heksagonal. Langkah pengolahan data FFT dan program scion image serta penggunaan origin mampu secara detail dijelaskan untuk mendeteksi kualitas keteraturan struktur karbon mesopori hasil sintesis.

Kata kunci: karakterisasi, TEM, XRD, adsorpsi desorpsi N₂ dan karbon mesopori

Abstract

Mesoporous carbon of gelatin (CMG) in the present research were synthesized using mesoporous SBA-15 silica, gelatin as source of carbon and sulfuric acid as the catalyst of carbonization process. Synthesis step consist of infiltration soure of carbon on to template followed by carbonization for 6 h at 110 dan 160 °C, then pirolyzed in inert condition at 900C for 3 h and finished by HF removing template. The quality of mesoporous carbon structure is clearly observed both in TEM, SAXRD and nitrogen adsorption-desorption. From the results SAXRD, TEM and nitrogen adsorption-desorption, synthesized mesoporous carbon has a specific surface area of 756 m²/g, total pore volume of 0.999 cm³/g, the ratio of mesoporous against micropores 81%, an average pore diameter of 5.2 nm and 4.06 pore size distribution with a geometry similar to the arrangement of tubes with hexagonal formation. Step FFT data processing and image scion program as well as the use of origin described in detail able to detect quality carbon structural regularity of mesoporous synthesized.

Keywords: carактерization, TEM, XRD, N₂ adsorption-desorption and mesoporous carbon

Pendahuluan

Karbon mesopori merupakan material dengan keteraturan struktur yang banyak diaplikasikan sebagai penyimpan energi, katalis pengolahan minyak bumi hingga bahan alat-alat komunikasi (Barata-Rodrigues *et al.*, 2003). Keunggulan karbon mesopori lainnya adalah *inert*, kestabilan termal tinggi, luas permukaan besar hingga ruang pori yang besar dan teratur (Beck *et al.*, 1992). Kualitas karbon mesopori dapat ditentukan karakteristiknya (Beretta, 2009). Beberapa instrument yang banyak digunakan sebagai standar dalam menentukan karakteristik karbon mesopori antara lain: *Small Angle X-Ray Diffraction* (SAXRD), adsorpsi-desorpsi isothermal gas N₂, *Transmission electron microscopy* (TEM), dan *Small Angle X-Ray Scattering* (SAXS) (Bohme *et al.*, 2005).

Intrumen SAXRD memiliki keunggulan dibanding XRD biasa karena mampu mendeteksi puncak refleksi pada sudut 2θ antara $1 - 5^\circ$. Pola difraksi karbon mesopori pada SAXRD memiliki tiga puncak refleksi yaitu (100), (110) dan (200) yang merupakan karakter group ruang *p6mm* bentuk heksagonal 2 dimensi (Dai *et al.*, 2006). Sebagaimana XRD, SAXRD juga menyajikan pola difraksi dengan puncak-puncak tertentu pada 2θ . Puncak difraksi karbon mesopori berturut-turut teramati pada sudut 2θ sekitar $0,9^\circ$, $1,6^\circ$ dan $1,9^\circ$. Ketebalan dinding (t) dihitung dari selisih a_0 terhadap diameter hasil TEM. Pola difraksi hasil SAXRD dengan puncak-puncak tertentu pada sudut 2θ dapat digunakan untuk menentukan parameter unit sel dan *d-spacing* (jarak antar kisi kristal) sesuai hukum Bragg. Parameter unit sel (a_0) dapat dihitung menggunakan persamaan 1, dengan d_{100} adalah jarak antar kisi pada puncak difraksi (100) pada profil XRD. Selanjutnya data parameter unit sel dan *d-spacing* digunakan untuk mengkonfirmasi hasil pengukuran pori atau menentukan

ketebalan dinding pori (Darmstadt *et al.*, 2002). Selain SAXRD, instrumen yang mampu mendeteksi kisi kristal adalah SAXS. Instrumen SAXS hampir sama dengan SAXRD dalam hal penggunaan hasil data namun sedikit berbeda dalam bentuk luaran data. SAXS menggunakan hamburan (*scattering*) yang dinotasikan dengan q dalam penentuan karakter mesopori. Ketelitian SAXS lebih tinggi dibanding SAXRD karena SAXS mampu mengamati perubahan pola hamburan material dengan sudut 2θ kurang dari $0,5^\circ$. Plot SAXS terdiri dari intensitas hamburan atau $I(q)$ dan satuan hamburan pada sudut kecil (q) (Guo *et al.*, 2013). Korelasi q dengan sudut θ sesuai persamaan 2.

$$a_0 = \frac{2d_{100}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$q = \frac{4\pi \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

Selanjutnya dari hasil penghitungan akan didapatkan sudut θ untuk menghitung parameter unit sel (a_0). Karakteristik karbon mesopori dengan SAXS adalah munculnya puncak-puncak hamburan mirip pada q $0,9^\circ$; $1,6^\circ$ dan $1,9^\circ$ yang terindeks sebagai puncak (100), (110), (200) dengan nilai *d-spacing* yang sesuai dengan karakter susunan kerangka heksagonal (Darmstadt *et al.*, 2003). Kompilasi data XRD, adsorpsi-desorpsi N₂ dan TEM mampu memberikan gambaran yang lebih detail mengenai struktur ruang karbon mesopori.

Berbeda dengan XRD, pengukuran pori menggunakan adsorpsi desorpsi N₂ menghasilkan 4 data utama yaitu luas permukaan, diameter pori rata-rata, distribusi ukuran pori cabang adsorpsi-desorpsi BJH dan volume pori total. Karakteristik pori material dapat diperkirakan dengan mengamati bentuk isoterm adsorpsi dan histerisis. Adsorpsi isoterm tipe IV adalah karakter mesopori

(Deng *et al.*, 2008). Adsorpsi isoterm tipe IV memiliki histerisis pada P/Po 0,4 yang menandai terbentuknya multilayer dan mewakili adanya pori berukuran meso (Despetis *et al.*, 2012). Distribusi ukuran pori mewakili dominasi ukuran pori material. Keteraturan pori material dapat diduga keberadaannya ketika muncul distribusi ukuran pori dengan puncak yang sempit (*narrow pore size distribution*). Karbon mesopori menurut beberapa peneliti memiliki bentuk isoterm tipe IV dengan distribusi ukuran pori yang sempit (Enterría *et al.*, 2012 dan Enterría *et al.*, 2013). Karbon mesopori memiliki lup histerisis yang bervariasi dari H1, H2, H3 dan H4. Histerisis akan mulai terlihat pada P/Po sekitar 0,4 sebagai tanda adanya pembentukan multilayer (Fuertes and Nevskaja, 2003).

Tipe-tipe histerisis menggambarkan keteraturan pori suatu material (Guo *et al.*, 2013). Beberapa peneliti menjadikan bentuk histerisis sebagai acuan untuk memperkirakan keberhasilan proses replikasi karbon selama sintesis. Histerisis tipe H1 adalah tipe paling ideal dimana material yang memiliki tipe ini akan memiliki keteraturan mesopori yang tinggi. Tipe H2 mewakili material yang memiliki campuran mikropori dan mesopori sedangkan tipe H3 dan H4 mewakili material mesopori yang tidak teratur (Hampsey *et al.*, 2005 dan Han *et al.*, 2003). Penentuan luas permukaan mikropori data adsorpsi-desorpsi N₂ dengan metode *t-plot* menerapkan persamaan Harkin-Jura. Penentuan luas permukaan mesopori dan mikropori dari *t-plot* sebelumnya telah digunakan oleh para peneliti untuk menganalisa mikroporositas (Hsu *et al.*, 2007). Asumsi tersebut berasal dari korelasi langsung antara kurva linier *t-plot* yang merepresentasikan intersep sebagai volume pori dan slope sebagai luas permukaan. Selisih antara luas permukaan total yang berasal dari slope garis linier bagian bawah dan luas permukaan eksternal yang berasal dari slope garis linier bagian

atas dapat memperkirakan luas area mikropori (Han *et al.*, 2003). Pada kajian material mesopori, informasi luas area mikropori dapat dimanfaatkan untuk menentukan luas area mesopori.

SAXRD dan adsorpsi desorpsi N₂ hanya mampu mendeteksi bidang dan luas permukaan material. Karakter khas karbon mesopori berupa susunan batang karbon berukuran nanometer membentuk formasi heksagonal dapat diamati dengan TEM (Hu *et al.*, 2000). Penentuan ukuran pori dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran pada gambar TEM dari arah vertikal (tampak muka) dan arah horisontal (tampak samping). Hasil TEM dapat dikonfirmasi dengan hasil pengukuran XRD dan nitrogen adsorpsi-desorpsi. Pola gambar TEM arah vertikal menjadi bentuk kerangka karbon mesopori dengan susunan batang-batang karbon yang terhubung oleh batang-batang kecil mampu memberi informasi adanya struktur pori heksagonal (Huang and Kruk, 2012). Keteraturan struktur mikro dari pengamatan TEM dapat dilengkapi dengan pengolahan gambar TEM menggunakan Fast Fourier Transform (FFT).

Masing-masing instrumen memiliki kekhasan dalam menentukan karakteristik karbon mesopori. Sejauh ini belum ditemukan artikel yang menyajikan langkah-langkah praktis yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan karakteristik karbon mesopori. Dari uraian diatas, hasil karakterisasi antara SAXRD, adsorpsi-desorpsi N₂ dan TEM memiliki hubungan yang menunjukkan kualitas karbon. Artikel ini meneliti tentang hubungan antara data SAXRD, adsorpsi-desorpsi N₂ dan TEM dalam menginvestigasi keberhasilan proses sintesis karbon mesopori.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain botol ampul, gelas beker 250 mL, *hotplate magnetic*

stirrer, tabung reaksi, pipet tetes, gelas ukur, batang pengaduk, kertas saring Whatmann 42, aluminium foil, corong, oven, neraca analitis, termometer, reaktor kalsinasi, reaktor karbonisasi, tabung bulat, pipet mikro, furnace muffle, pengukur laju alir gas H₂, desikator, cawan porselein, reaktor hidrodesulfurisasi, reaktor alumina, tube furnace (CARBOLITE CTF12/75/700)

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelatin yang diekstrak dari limbah tulang sapi, asam sulfat, asam klorida, n-heksana, NaOH (Merck, 99%), SBA-15 (diameter pori 7-9 nm, luas permukaan 560 m²/g, volume pori 1,0 cm³/g) merk Six C Material, China supplier), HF, asam klorida, etanol, metanol, aseton dan akuabides, dibenzotiofen (Merck, 98%).

Prosedur Penelitian

Sintesis karbon mesopori

Karbon mesopori gelatin tulang (CMG) disintesis merujuk pada metode yang digunakan Hsu *et al.*, 2007 dengan modifikasi menggunakan SBA-15 sebagai cetakan dan gelatin sebagai prekursor karbon. Rasio precursor karbon, asam sulfat dan air adalah 10 : 2 : 1000 (b/b). Sintesis karbon mesopori diawali dengan mencampurkan serbuk gelatin sekitar 1,04 g kedalam campuran asam sulfat pekat 0,2 g dalam air 100 g sambil diaduk sampai menghasilkan larutan gelatin yang homogen. Kemudian SBA-15 sebanyak 1 g ditambahkan pada larutan gelatin dan dicampur sampai homogen selama 2 jam. Campuran tulang ini selanjutnya dipanaskan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 7 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 160 °C selama 7 jam agar terjadi dehidrasi. Setelah komposit gelatin/SBA-15 mengandung masa organik terkarbonisasi parsial, selanjutnya ditambahkan larutan gelatin yang mengandung 0,92 g gelatin ke dalam campuran asam sulfat 0,08 g dan air 100 g. Komposit gelatin/SBA-15 yang terbentuk kemudian dipanaskan lagi pada

suhu 100 °C selama 6 jam dilanjutkan suhu 160 °C selama 6 jam sampai terbentuk serbuk hitam.

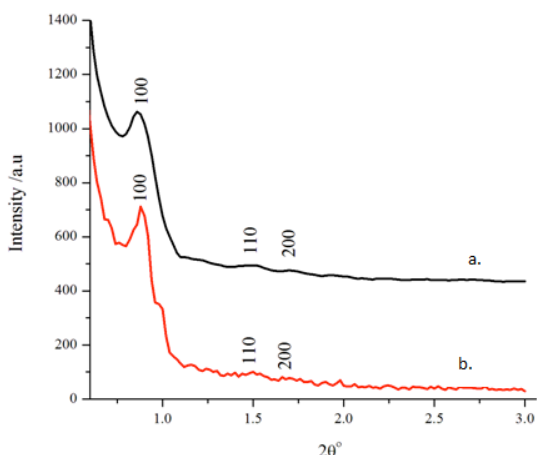
Karakterisasi

Instrumen untuk karakterisasi karbon mesopori antara lain: Small angle X-Ray Diffraction (SAXRD) XRD D/MAX-2550 HB/PC (Rigaku Co., Tokyo, Japan) di Nagoya University, Small angle X-Ray Scattering (SAXS) (ELETTRA Synchrotron-CV12, Photonic Science Ltd.) dioperasikan Australian Research Council (ARC) dan Australian Institute for Bioengineering and Nanotechnology (AIBN) (Queensland University), Surface Area Analyzer (Quantachrome NovaWin version 11.0- 1994-2010) dioperasikan di UNNES, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Analysis of X-rays (SEM-EDAX) merk JEOL/EO JSM-6360 dan Differential Scanning Calorimetry-Thermal Gravimetric Analysis (DSC-TGA) (Thermoanalyzer Setaram model LABSYS tm TG-DTA/DSC) dioperasikan di ITS, Transmission Electron Microscopy (TEM) dioperasikan pada 120 kV dan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) merk Shimadzu model 8300. Proses analisa data menggunakan program origin 7.0, Program nova-quantachrome, program scion image dan Microsoft excel.

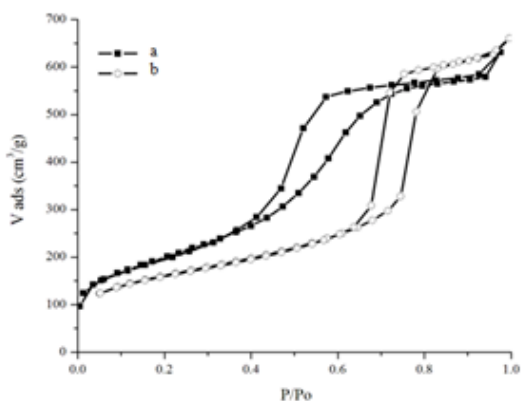
Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 adalah difraksi SAXRD pada material karbon mesopori yang menunjukkan tiga puncak khas pada 2 θ sekitar 0,8°; 1,6° dan 1,8° yang terindeksi sebagai (100), (110) dan (200). Ketiga puncak khas tersebut adalah karakter khusus dari bentuk heksagonal tiga dimensi dengan space group p6mm yang mengindikasikan bahwa karbonmesopori memiliki struktur teratur yang sama dengan SBA-15. Gambar 2 menunjukkan isoterm adsorpsi nitrogen pada sampel karbon mesopori (KM). Keberhasilan sintesis karbon mesopori juga dapat dilihat dengan mengamati titik infleksi

pada isoterm adsorpsi nitrogen pada sampel KM. Posisi P/Po pada titik infleksi adalah fungsi diameter pori akibat adanya prosedur adsorpsi pada permukaan disertai pembentukan mono serta multilayer (Hudec et al., 2002).



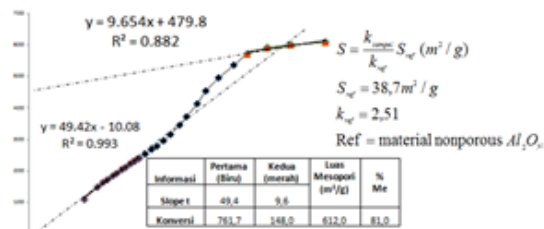
Gambar 1. Difraktogram a) karbon mesopori dan b) SBA-15



Gambar 2. Isoterm adsorpsi-desorpsi a) karbon mesopori dan b) SBA-15

Infleksi pada isoterm sampel karbon mesopori KM pada P/Po 0,0 – 1,0 dibagi dalam 3 area yaitu monolayer pada karbon mikropori, kontribusi mesopori dan interkoneksi pori-pori yang memberi arti lain bahwa pada jaringan pori ada pori primer dan ada pori sekunder (umumnya berukuran lebih kecil). Hal ini akan terdeteksi dengan kurva *t*-plot pada kisaran tekanan rendah untuk mendeteksi jumlah mikropori (Ulfa et al., 2014b). Tahap penentuan *t*-plot diawali dengan

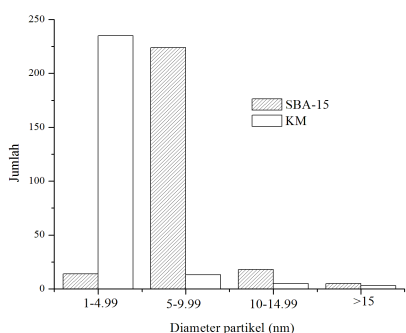
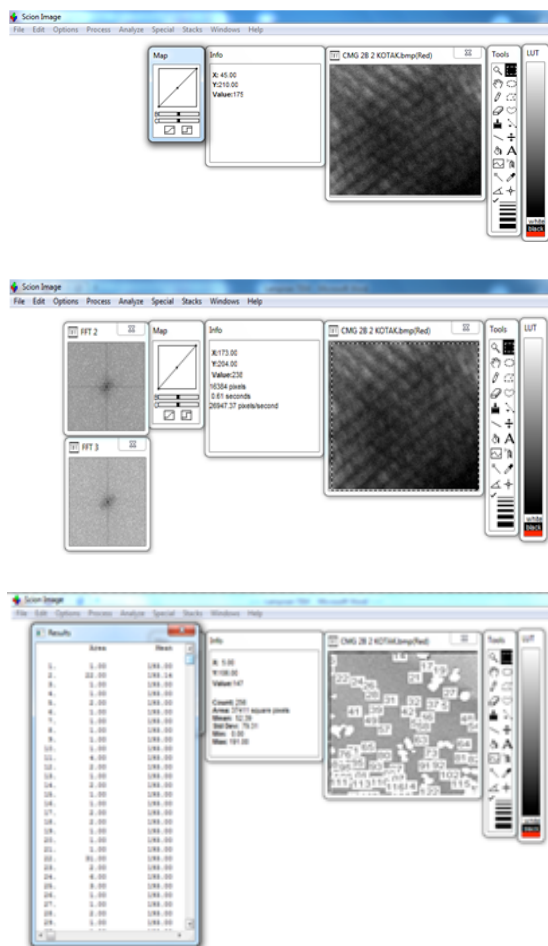
mengolah P/Po dengan nilai *t* dari persamaan Harkin Jura. Selanjutnya dibuat plot antara data *t* pada P/Po 0,1 – 0,8 dengan volume adsorpsinya (*V_{ads}*). Terakhir ditentukan slope atas dan bawah dari hasil plot *t* Vs *V_{ads}* untuk menghitung luas mikropori atau mesopori (Gambar 3).



Gambar 3. Penghitungan luas mikropori dan mesopori

Hasil TEM sampel karbon mesopori KM ditunjukkan pada Gambar 4 dilengkapi dengan pola FFT. Gambar 4 menunjukkan adanya pori seragam pada karbon mesopori dilihat dari arah vertikal. Kestabilan struktur KM dapat diidentifikasi dengan mengamati ada tidaknya cacat struktur dengan TEM. Keteraturan struktur dan fitur mikroskopik material pada penelitian ini diamati dengan TEM yang dilengkapi gambar FFT menggunakan scion image sebagai program pengolahan data. FFT selain berupa rumusan transformasi menurut Wu and Zaefferer, 2009 juga merupakan penyaring panjang gelombang (*wavelet filter*) sehingga mampu mengurangi gangguan (*noise*) pada suatu data. Hasil FFT adalah sebuah titik dengan pola tertentu sesuai keteraturan data yang diolah. Langkah ekstraksi pola FFT dari TEM diawali dengan membuka file *.bmp dengan scion image dilanjutkan *option greyscale* lalu *option threshold*. Kemudian pada gambar bar size ditandai lalu memilih analyze – set scale (nm). Area partikel yang akan dihitung di *blocking* terlebih dahulu dilanjutkan dengan memilih analyze-option. *Blocking* dibuat pada posisi (x, y = 128, 128) atau (x, y = 256, 256) lalu tekan process klik FFT. Langkah selanjutnya

adalah memilih *analyze-analyze particles* lalu *analyze-measure* lalu *analyze-show result*. Data hasil export *.txt kemudian diproses dalam excel dengan mengurutkan besarnya partikel dan frekuensi kisaran partikel lalu dibuat histogram.



Gambar 4. Prosedur penentuan FFT dan distribusi ukuran pori a) membuka program scion image, b) *bloking* dan konversi FFT, c) export data ke excel dan membuat histogram

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pembentukan pori pada karbon mesopori secara umum dapat terjadi selama proses replikasi cetakan SBA-15. Struktur pori SBA-15 memiliki mikropori atau mesopori kecil pada dinding sebagai jembatan yang menghubungkan saluran utama tabung mesopori (Ulfa *et al.*, 2014c). Jika prekursor karbon mengisi seluruh ruang bagian dalam SBA-15 maka akan terbentuk kerangka karbon dengan batang pejal. Proses ini disempurnakan dengan pelepasan kerangka silika. Ketika dinding silika telah dilepaskan, dinding silika berganti menjadi saluran kosong pori karbon. Hal ini memiliki makna bahwa pori karbon sebenarnya adalah bekas posisi dinding silika yang terlepas. Fakta ini memberi kesimpulan bahwa ukuran pori karbon mesopori setara ukuran dua kali tebal dinding SBA-15. Hal ini terbukti pada penelitian ini bahwa diameter rata-rata karbon mesopori sebesar 5,20 nm mendekati dua kali tebal dinding SBA-15 yang berukuran 2,72 nm (Ulfa *et al.*, 2014a).

Kesimpulan

Karbon mesopori hasil sintesis dari gelatin tulang sapi memiliki luas permukaan spesifik dari 756 m²/g, total volume pori 0,999 cm³/g, rasio mesopori dari 81%, diameter pori rata-rata 5,2 nm dan distribusi ukuran pori 4,06 nm. Dari hasil karakterisasi dapat diambil kesimpulan bahwa sintesis telah berhasil dilakukan dan mendapatkan karbon mesopori teratur dengan geometri mirip susunan tabung dengan formasi heksagonal. Kualitas struktur karbon mesopori teramati dengan jelas baik pada TEM, SAXRD dan nitrogen adsorpsi-desorpsi meskipun karbon mesopori. FFT dan program *Scion image* serta penggunaan origin mampu secara simultan mendeteksi tumpukan beberapa lapis karbon akibat penyusutan struktur yang terjadi selama proses karbonisasi dan pelarutan kerangka silika. Diameter

pori hasil TEM, SAXRD dan nitrogen adsorpsi tidak berbeda signifikan yang menunjukkan tingginya kualitas keteraturan struktur karbon mesopori hasil sintesis.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami ucapkan kepada para promotor yaitu Prof. Wega

Daftar Pustaka

- Barata-Rodrigues, P.M., Mays, T.J. and Moggridge, G.D., (2003). Structured carbon adsorbents from clay, zeolite and mesoporous aluminosilicate templates. *Carbon*, 41, 2231–2246.
- Beck, J.S., Vartuli, J.C., Roth, W.J., Leonowicz, M.E., Kresge, C.T., Schmitt, K.D., Chu, C.T.-W., Olson, D.H., Sheppard, E.W., McCullen, S.B., Higgins, J.B. and Schlenker, J.L. (1992). A New Family of Mesoporous Molecular Sieves Prepared with Liquid Crystal Templates. *J. Am. Chem. Soc.*, 114, 10834–10843.
- Beretta, M., (2009). Nanostructured Mesoporous Materials Obtained By Template Synthesis and Controlled Shape Replica. *Dr. thesis*.
- Bohme, K., Einicke, W.D. and Klepel, O., (2005). Templated Synthesis of Mesoporous Carbon From Sucrose - the Way From the Silica Pore Filling to the Carbon Material. *Carbon*, 43, 1918–1925.
- Dai, W., Zhou, Y., Li, S., Li, W., Su, W., Sun, Y. and Zhou, L. (2006). Thiophene capture with complex adsorbent SBA-15/Cu(I). *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 7892–7896.
- Darmstadt, H., Roy, C., Kaliaguine, S., Choi, S. and Ryoo, R. (2002). Surface chemistry of ordered mesoporous carbons. *Carbon*, 40, 2673–2683.
- Darmstadt, H., Roy, C., Kaliaguine, S., Kim, T.W. and Ryoo, R. (2003). Surface and pore structures of CMK-5 ordered mesoporous carbons studied by nitrogen adsorption and surface spectroscopic methods. *in: Sang-Eon Park Wha-Seung Ahn, Chul Wee Lee and Jong-San Chang BT - Studies in Surface Science and Catalysis, R.R. (Ed.), Nanotechnology in Mesostructured Materials Proceedings of the 3rd International Materials Symposium. Elsevier, 335–338.*
- Deng, S., Chu, W., Xu, H., Shi, L. and Huang, L. (2008). Effects of impregnation sequence on the microstructure and performances of Cu-Co based catalysts for the synthesis of higher alcohols. *J. Nat. Gas Chem.*, 17, 369–373.
- Despetis, F., Bengourna, N., Lartigue, B., Spagnol, S. and Olivi-Tran, N. (2012). Three-dimensional reconstruction of aerogels from TEM images. *J. Non. Cryst. Solids*, 358, 1180–1184.
- Enterría, M., Suárez-García, F., Martínez-Alonso, A. and Tascón, J.M.D. (2012). Synthesis of ordered micro-mesoporous carbons by activation of SBA-15 carbon replicas. *Microporous Mesoporous Mater.*, 151, 390–396.
- Enterría, M., Suárez-García, F., Martínez-Alonso, A. and Tascón, J.M.D. (2013). One-pot endo/exotemplating of hierarchical micro-mesoporous carbons. *Carbon*, 54, 365–377.

- Fuertes, A.B. and Nevskaya, D.M. (2003). Template synthesis of mesoporous carbons from mesostructured silica by vapor deposition polymerisation. *J. Mater. Chem.*, 13, 1843–1846.
- Guo, R., Guo, J., Yu, F. and Gang, D.D. (2013). Synthesis and surface functional group modifications of ordered mesoporous carbons for resorcinol removal. *Microporous Mesoporous Mater.*, 175, 141–146.
- Hampsey, J.E., Hu, Q., Wu, Z., Rice, L., Pang, J. and Lu, Y. (2005). Templating synthesis of ordered mesoporous carbon particles. *Carbon*, 43, 2977–2982.
- Han, S., Lee, K.T., Oh, S.M. and Hyeon, T., (2003). The effect of silica template structure on the pore structure of mesoporous carbons. *Carbon*, 41, 1049–1056.
- Hsu, C.-H., Lin, H.-P., Tang, C.-Y. and Lin, C.-Y. (2007). Synthesis of mesoporous silica and mesoporous carbon using gelatin as organic template. *Stud. Surf. Sci. Catal.*, 165, 385–388.
- Hu, Z., Srinivasan, M.P. and Ni, Y. (2000). Preparation of Mesoporous High Surface Area Activated Carbon. *Adv. Mater.*, 12, 62–65.
- Huang, L. and Kruk, M. (2012). Synthesis of ultra-large-pore FDU-12 silica using ethylbenzene as micelle expander. *J. Colloid Interface Sci.*, 365, 137–142.
- Hudec, P., Smiešková, A., Idek, Z., Schneider, P. and Šolcová, O. (2002). Determination of microporous structure of zeolites by t-plot method—State-of-the-art. in: R. Aiello, G.G. and F.T.B.T.-S. in S.S. and C. (Ed.), *Impact of Zeolites and Other Porous Materials on the New Technologies at the Beginning of the New Millennium Proceedings of the 2nd International FEZA (Federation of the European Zeolite Associations) Conference. Elsevier*, 1587–1594.
- Ulfa, M., Trisunaryanti, W., Falah, I.I. and Kartini, I. (2014a). Studies of kinetic on thermal decomposition of mesoporous carbon of gelatin by thermogravimetric technique. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, 7, 849–856.
- Ulfa, M., Trisunaryanti, W., Izul Falah, I. and Kartini, I. (2014b). Synthesis of mesoporous carbon using gelatin as source of carbon by hard template technique and its characterizations. *IOSR J. Appl. Chem.*, Ver. III 7, 1–7.
- Ulfa, M., Trisunaryanti, W., Izul Falah, I. and Kartini, I. (2014c). Nitrogen Sorption Evaluation of the Porous Carbon Made from Cow Gelatin. *J. Chem. Eng. Chem. Res.*, 1, 101–109.
- Wu, G. and Zaefferer, S. (2009). Advances in TEM orientation microscopy by combination of dark-field conical scanning and improved image matching. *Ultramicroscopy*, 109, 1317–1325.

