

STUDY KARAKTER PORI TERHADAP KOMPOSIT γ -ALUMINA - KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta* Cranz)
(STUDY PORE CHARACTERIZATION OF γ -ALUMINA – ACTIVATED CARBON COMPOSITE MADE OF CASSAVA PEELS (*Manihot esculenta* Cranz))

Hartini , Yuniawan Hidayat* , Mudjijono

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
SebelasMaret,

Jl. Ir Sutami No. 36 A, Kerting Surakarta

Email: yuniawan.hidayat@yahoo.com

Received 30 June 2014, Accepted 29 December 2014 , Published 01 March 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan studi mengenai struktur dan karakter pori dalam suatu komposit yang dibuat dari γ -alumina dan karbon aktif dari kulit singkong. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi dan struktur, serta karakter dan tipe ukuran pori dalam komposit γ -alumina – karbon aktif dari kulit singkong.

Karbon yang telah dibuat dari kulit singkong diaktivasi dengan H_2SO_4 dan diuji kualitas aktivitasnya berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII). Penambahan karbon aktif ke dalam γ -alumina dibuat dalam variasi 10, 20, 30, 40 dan 50% b/b, dari berat total 10 gram. Komposit γ -alumina – karbon aktif dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, SAA (*Surface Area Analyzer*) dan penentuan *Hysteresis Loop* komposit.

Semakin besar penambahan karbon aktif terhadap γ -alumina menyebabkan interaksi intermolekuler antara gugus-gugus –O-H membentuk ikatan hidrogen rehidrasi dalam komposit semakin besar. Struktur γ -alumina dalam komposit tetap terjaga meskipun persentase kadar karbon aktif besar. Penambahan karbon aktif dalam γ -alumina mengakibatkan tipe mesopori komposit menurun dengan karakteristik komposit mendekati karakteristik karbon aktif.

Kata kunci : γ -alumina, Karbon Aktif, Interaksi, Struktur, *Hysteresis loop*, Karakter Pori, Komposit, Limbah Kulit Singkong, *t-plot*.

ABSTRACT

A composite of γ -alumina and activated carbon made of cassava peels was studied in terms of its pore structures and its properties. The objective of this study was to determine the interaction and structure, as well as the character and pore size of γ -alumina – activated carbon composite.

Carbon made of cassava peels was activated by H_2SO_4 and its activities were tested according to the Indonesian Industrial Standards (SII). The addition of activated carbon into γ -alumina made in variations of 10, 20, 30, 40 and 50% w/w, of the total weight of 10 grams. The composite of γ -alumina - activated carbon was characterized by FTIR, SAA (*Surface Area Analyzer*), XRD, and determination of *Hysteresis Loop* composites.

The greater addition of activated carbon to γ -alumina causes intermolecular interactions between –O-H groups form rehydrated hydrogen bonds in the composite is greater. The structure of γ -alumina in the composites remain intact although the percentage

of activated carbon in composite is large. The total pore volume and surface area using the BET method of the composite decreases with increasing activated carbon percentage. The greater addition of activated carbon to γ -alumina causes size of mesoporous composites decreased with the characteristic of a composite formed is closer to the activated carbon.

Keywords: γ -alumina, activated carbon, Pore Character, Composite, Leather Waste Cassava, t-plot.

PENDAHULUAN

Adsorpsi merupakan proses pengikatan suatu adsorbat di atas permukaan pori benda padat. Proses adsorpsi cukup berperan penting dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya digunakan dalam proses penyerapan limbah yang terbuang di lingkungan. Molekul yang terserap disebut adsorbat dan molekul yang menyerap disebut adsorben. Karakteristik pori suatu adsorben mempengaruhi jumlah adsorbat yang terserap. Semakin besar ukuran pori suatu adsorben maka adsorbat yang terserap semakin banyak.

Gamma (γ) alumina merupakan suatu material adsorben yang memiliki sifat mekanik kuat, ditunjukkan dengan ukuran pori besar, tetapi penyerapan adsorbat hanya menyelimuti permukaan adsorben (Filho *and* Carmo, 2004). Kannan, *et al* (2005) melaporkan γ -alumina aktif berperan penting dalam proses adsorpsi *dyes malachite green*. Gamma (γ) alumina merupakan salah satu turunan Alumina yang paling banyak digunakan dalam bidang katalis dan adsorpsi (Yang, 2003).

Karbon aktif merupakan senyawa amorph yang mampu menyerap beberapa jenis senyawa kimia dalam bentuk cairan, padatan maupun gas secara selektif, tergantung dari volume pori-pori dan luas permukaannya. Karbon aktif memiliki daya adsorpsi tinggi dan spesifik, luas permukaan yang besar, dan ukuran pori karbon aktif yang beraneka ragam (Yang, 2003). Akan tetapi, ketahanan mekanik dari karbon aktif relative rendah dibandingkan γ -alumina. Berbagai bahan baku dari limbah pertanian dapat digunakan untuk menghasilkan arang aktif yaitu bahan yang mengandung karbon, antara lain berbagai jenis kayu, serbuk gergaji, kulit atau biji buah-buahan, tongkol jagung, tempurung kelapa, sekam padi dan lain-lain (Nailasa, 2013). Limbah kulit singkong dapat dibuat menjadi karbon aktif (Sudaryanto, *et al.*, 2006).

Singkong (*Manihot esculenta Cranz*) yang sering dikenal sebagai ketela pohon merupakan pohon tahunan tropika dan subtropika dari keluarga Euphorbiaceae. Selama ini, pemanfaatan singkong yang lebih dititikberatkan pada umbi, daun, dan batang menimbulkan hasil samping berupa limbah kulit singkong yang terbuang. Berdasarkan

data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2013 (Badan Pusat Statistik RI, 2014) diketahui bahwa produksi singkong atau ubi kayu di Indonesia pada tahun 2002 mencapai 16,91 juta ton. Produksi Singkong ini meningkat menjadi 24,17 juta ton pada tahun 2012. Menurut Darmawan (2006), dari total produksi singkong akan dihasilkan kurang lebih 16% limbah kulit singkong. Limbah kulit Singkong terdiri dari dua lapisan, yaitu kulit luar berwarna coklat kehitaman dan kulit dalam berwarna putih kemerahan.

Untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dan sifat mekanik, maka dilakukan *study* mengenai karakter pori terhadap komposit γ -alumina – karbon aktif yang dibuat dari kulit singkong. Perbedaan sifat kepolaran kedua material adsorben mengakibatkan komposit γ -alumina - karbon aktif sulit terbentuk. Oleh sebab itu perlu ditambahkan substansi yang mampu mengikat rantai antara kedua material tersebut. Sukrosa dapat digunakan sebagai bahan pengikat (Anas, *et al.*, 2007). Karakterisasi pori dari lima variasi b/b komposit γ -alumina – karbon aktif meliputi interaksi struktur antara γ -alumina dan karbon aktif, ukuran pori, dan tipe ukuran pori. Pembuatan komposit γ -alumina – karbon aktif meliputi pembuatan karbon aktif dari kulit singkong dan pengompositan γ -alumina dengan karbon aktif.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan antara lain: gelas beker 500 mL, Erlenmeyer, desikator, timbangan, plat kaca, oven, SAA (*Surface Area Analyzer*), IR Prestige 21, XRD, pH *stick* indikator, ayakan 100 mesh, pengaduk kaca, desikator, shaker, dan cawan porselen. Bahan-bahan yang digunakan adalah γ -alumina, sukrosa, H₂SO₄ 1%, akuades, asam asetat 50%.

Metode

Pembuatan karbon aktif dari kulit singkong.

Kulit singkong yang diperoleh dari limbah kulit singkong dari produsen kripik singkong “Barokah” di dusun Ngoro Tengah Kelurahan Triyagan Kecamatan Mojolaban Kabupaten Sukoharjo, dicuci dan dijemur di bawah sinar matahari. Limbah kulit singkong yang telah dijemur kemudian dikarbonisasi pada suhu 300 °C selama 1 jam. Karbon kemudian dikeringkan pada suhu 106 °C selama 3 jam. Aktivasi karbon dengan merendam karbon pada larutan H₂SO₄ 10% selama 1 jam. Setelah diaktivasi sampel dicuci dengan akuades sehingga tercapai pH konstan kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 3 jam. Serbuk karbon aktif kemudian dipanaskan kembali sambil dialiri gas N₂ pada suhu 250 °C.

Pembuatan komposit γ -alumina – karbon aktif.

Gamma (γ) alumina, sukrosa, dan asam asetat dicampurkan hingga homogen. Setelah itu ditambahkan karbon aktif dengan variasi komposisi (b/b) karbon aktif terhadap γ -alumina adalah 10, 20, 30, 40, dan 50% (b/b) sampai keempat bahan berbentuk pasta dan homogen. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam. Sampel kering dikalsinasi pada suhu 250 °C selama 1 jam. Sampel kemudian didinginkan, dihancurkan dan diayak dengan ukuran 100 mesh.

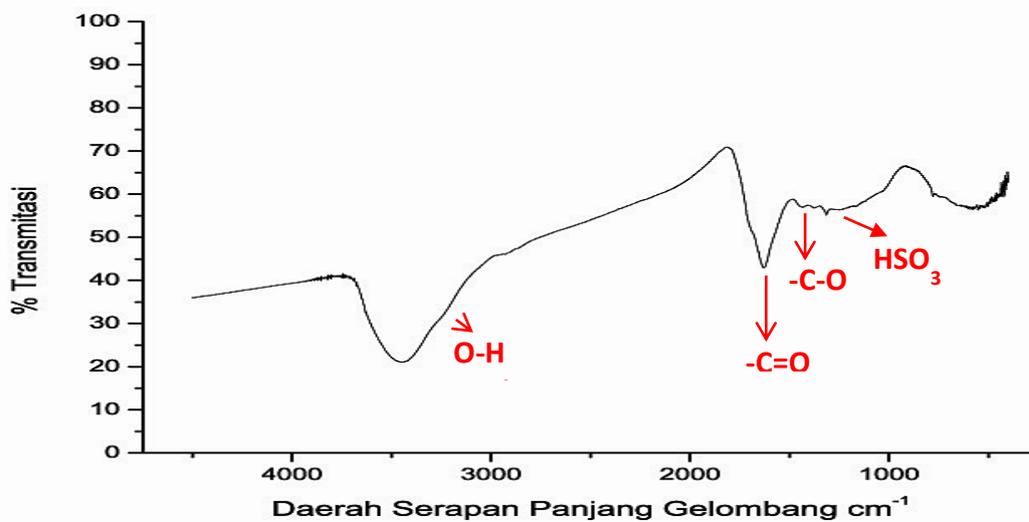
Karakterisasi pori komposit γ -alumina – karbon aktif.

Untuk mengetahui interaksi struktur dan tipe pori komposit dilakukan analisis gugus fungsi menggunakan spektrofotometri infra merah (FTIR) (IR Prestige 21). Hysteresis Loop, Luas Permukaan dan Volume Pori dengan *Surface Area Analyzer* (SAA) (NOVA 1200e). Struktur Kristal dalam komposit menggunakan difraksi sinar X (XRD) (Philips X'Pert). Kualitas karbon aktif dari kulit singkong juga diuji berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) yang meliputi kadar air, abu, zat terbang dan *fixed carbon*.

PEMBAHASAN

Identifikasi Karbon Aktif.

Karbon yang dibuat dari kulit singkong dicuci dengan akuadest untuk menghilangkan pengotor di permukaan karbon. Akuadest merupakan pelarut polar yang tidak mengandung mineral sehingga mampu melarutkan pengotor-pengotor yang bersifat polar (Kesuma, 2013). Karbon dari kulit singkong diayak dengan ayakan 100 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam. Ukuran partikel yang halus akan meningkatkan luas permukaan. Karbon diaktivasi menggunakan H_2SO_4 , karena menurut Yunianto (2002) H_2SO_4 merupakan dehidrator kuat untuk memutus rantai karbon dalam selulosa kulit singkong. Karbon aktif kemudian di-*treatment* menggunakan pengaliran gas nitrogen pada suhu 250 °C untuk memperbesar ukuran pori. Ukuran pori yang besar akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat. Karbon aktif yang dibuat, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotogram FTIR. Hasil analisis FTIR karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR karbon aktif kulit singkong.

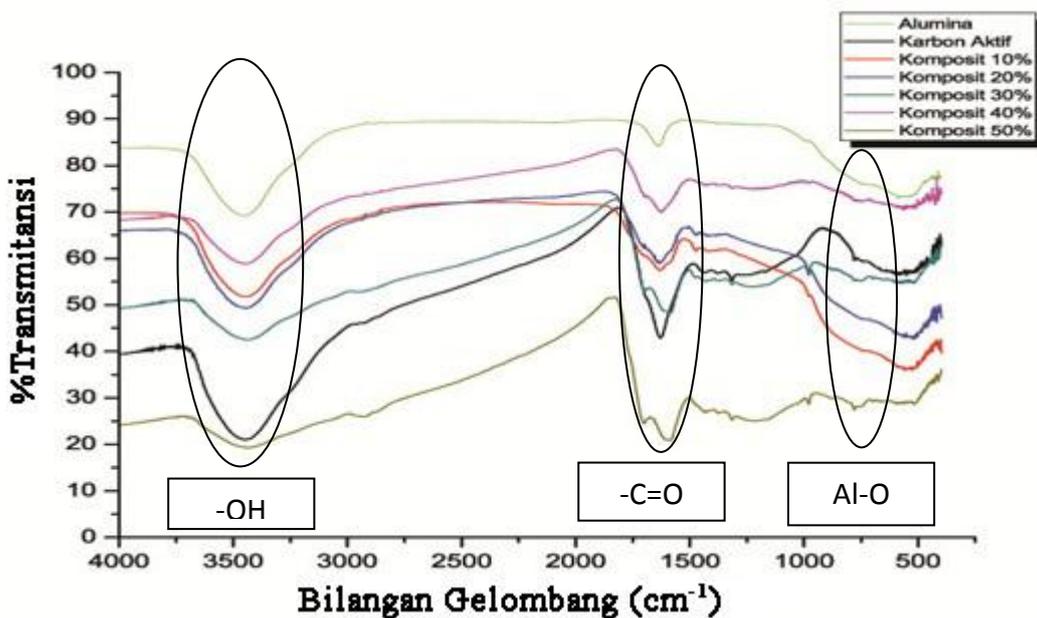
Spektra FTIR karbon aktif menunjukkan adanya serapan gugus aktif –O-H pada panjang gelombang $3450,80\text{ cm}^{-1}$. Disamping itu terdapat serapan baru karbon aktif pada panjang gelombang $1629,92\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan bahwa struktur karbon aktif berasal dari kelompok karboksilat. Hal ini sesuai dengan laporan Hartomo dan Purba (1980) yang mengungkapkan adanya serapan –O-H terikat pada daerah $3550\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ dan pada daerah $1870\text{-}1540\text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya gugus C=O. Sedangkan pada panjang gelombang $1163,13\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan adanya serapan HSO_3 sebagai serapan dari aktivator H_2SO_4 . Hasil penelitian Ngandayani (2011) menyatakan bahwa pada daerah serapan 1100 cm^{-1} menunjukkan adanya serapan gugus HSO_3 sebagai pengaruh dari aktivasi menggunakan H_2SO_4 .

Analisis Gugus Fungsi Komposit γ -alumina – Karbon Aktif.

Analisis Gugus Fungsi Komposit γ -alumina – Karbon Aktif dilakukan untuk mengetahui adanya interaksi kimia antara gugus-gugus fungsi aktif dalam komposit. Komposit γ -alumina – karbon aktif terbentuk melalui interaksi antara karbon aktif dengan γ -alumina melalui ikatan rehidrasi alumina ke karbon aktif (Liu, et al., 1989). Dimana ikatan rehidrasi adalah ikatan yang terbentuk ketika terjadi proses pembasahan kembali (Safnowandi, 2012). Proses pembentukan ikatan rehidrasi dapat dilakukan dengan mengikatkan gugus aktif dari γ -alumina dan karbon aktif yaitu gugus –O-H menggunakan suatu bahan pengikat seperti sukrosa.

Interaksi kimia dalam komposit γ -alumina – karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan spektra FTIR diketahui, gugus fungsi –O-H dalam komposit semakin melebar diikuti dengan pelebaran gugus fungsi –C=O dengan bertambahnya jumlah karbon

aktif dalam komposit. Hal ini dapat terjadi karena adanya kemungkinan gugus -O-H dari karbon aktif berinteraksi intermolecular dengan gugus -O-H dari γ -alumina membentuk ikatan hidrogen. Ditunjukkan berdasarkan jenis pelebaran gugus -O-H pada daerah serapan 3300-3500 cm^{-1} . Pembentukan ikatan hidrogen dalam komposit ini dapat disebabkan sebagai pengaruh ikatan rehidrasi dalam proses pembentukan komposit. Pada penelitian ini digunakan komposisi penambahan karbon aktif hanya sampai 50%, karena menurut Liu, *et al* (1989) komposisi alumina yang baik untuk campuran dengan Karbon Aktif sekitar 15 – 60%.

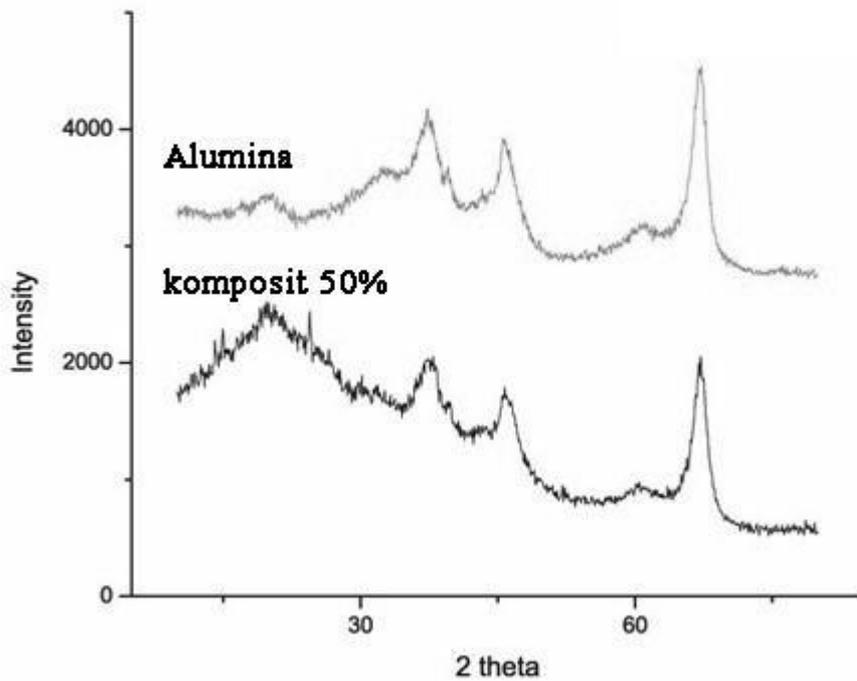


Gambar 2. Spektra FTIR komposit γ -alumina – karbon aktif.

Analisis Struktur Kristal Komposit γ -alumina – Karbon Aktif.

Analisis XRD dilakukan untuk mengidentifikasi fase kristal, struktur kristal maupun kristalinitas dari sampel. Teknik ini tidak mampu mengidentifikasi senyawa yang berstruktur amorf. Pada karakterisasi menggunakan XRD diamati difraktogram sampel komposit 50%, yang memiliki kandungan karbon aktif paling besar. Pola difraksi XRD komposit ditunjukkan pada gambar 3. Berdasarkan gambar 3. dapat diketahui terdapat tiga puncak $2\theta = 45,5^\circ$ dan 66° yang merupakan puncak dari γ -alumina. Hal ini mengindikasikan bahwa γ -alumina terimpregnasi dalam karbon aktif. Dibuktikan dengan adanya struktur γ -alumina yang tetap terjaga dalam komposit γ -alumina – karbon aktif.

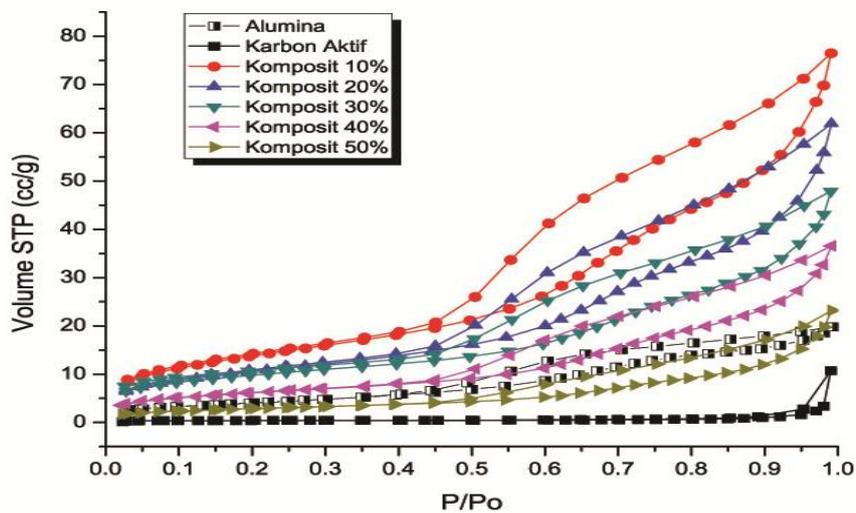
Kedua puncak XRD dalam penelitian ini memiliki kemiripan dengan hasil XRD komposit γ -alumina – karbon aktif yang dilakukan oleh Karim, *et al* (2011), yaitu pada nilai $2\theta = 42^\circ$ dan 65° dan Chen, *et al* (2012), yaitu pada nilai $2\theta = 46^\circ$ dan $66,8^\circ$.



Gambar 3. Spektra XRD Komposit γ -alumina – karbon aktif.

Karakterisasi Ukuran Pori Komposit γ -alumina – Karbon Aktif.

Karakterisasi luas permukaan, volume pori, dan distribusi pori didasarkan pada data adsorpsi-desorpsi isoterm gas N_2 . Isoterm untuk komposit γ -alumina – karbon aktif diilustrasikan pada Gambar 4. Gambar 4. memperlihatkan bahwa proses adsorpsi isoterm karbon aktif dari kulit singkong menggambarkan monolayer, sedangkan pada γ -alumina menunjukkan multilayer. Pola adsorpsi isoterm BET yaitu diawali dengan terjadinya penambahan jumlah lapisan dengan peningkatan tekanan relative yang terbentuk secara merata sampai keadaan jenuh tercapai (Yulianto, *et al.*, 2010).



Gambar 4. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi komposit γ -alumina – karbon aktif.

Pada komposit γ -alumina – karbon aktif 10, 20, 30, dan 40% b/b dengan tekanan relatif yang sama kemampuan menyerap gas N_2 lebih banyak dibandingkan kemampuan menyerap karbon aktif dan γ -alumina. Sedangkan pada komposit γ -alumina – karbon aktif 50% memiliki kecenderungan menyerap gas N_2 lebih besar dibandingkan kemampuan menyerap karbon aktif dan lebih kecil dibandingkan kemampuan menyerap γ -alumina. Hal ini dapat dijelaskan melalui *Hysteresis Loop* komposit pada Gambar 4. yang memperlihatkan karakter adsorpsi pori komposit mendekati karakter adsorpsi pori karbon aktif dengan meningkatnya persentase karbon aktif.

Pada pembuatan komposit, karbon aktif yang memiliki ukuran mikropori masuk ke dalam γ -alumina yang memiliki ukuran makropori. Karbon aktif membentuk ruang antar lapis yang dapat meningkatkan ketebalan pori dalam γ -alumina. Oleh karena itu jumlah karbon aktif berpengaruh dalam menentukan ukuran dan tipe pori.

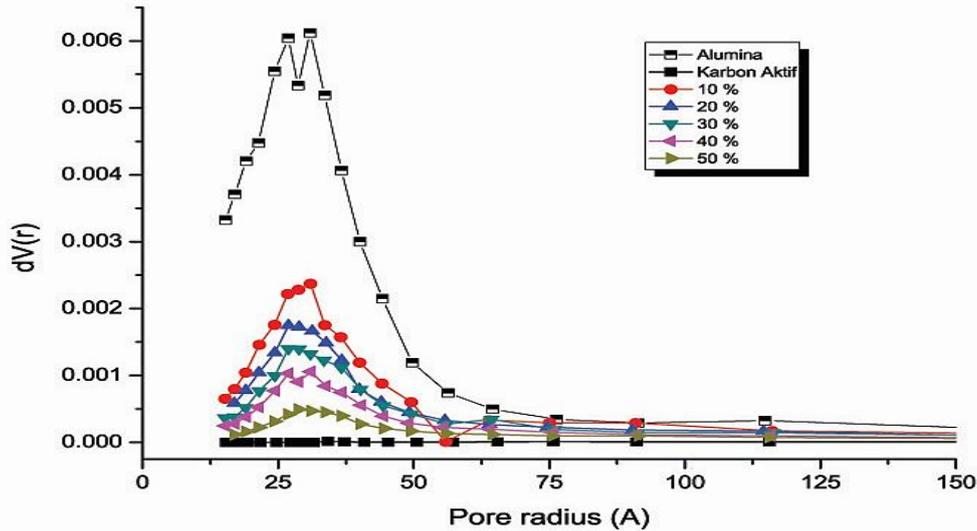
Tabel 1. Luas Permukaan dan Volume Pori BET

Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)	Total Volume Pori (cc/g)
γ -Alumina	110.683	0.2244
Karbon Aktif	1.127	0.01486
Komposit 10%	44.481	0.105
Komposit 20%	33.889	0.08527
Komposit 30%	34.773	0.07627
Komposit 40%	20.158	0.05246
Komposit 50%	10.115	0.03541

Tabel 1. menunjukkan penurunan luas permukaan dan volume pori komposit, secara umum pada berbagai variasi penambahan karbon aktif. Penurunan luas permukaan dan volume pori komposit, dapat disebabkan karena sifat komposit yang cenderung mendekati karbon aktif, sehingga mengindikasikan adanya proses reduksi mesopori dan makropori dalam proses kalsinasi. Proses reduksi mesopori dan makropori dapat menggambarkan ukuran mikropori bertambah dengan naiknya kandungan karbon aktif dalam komposit.

Hasil penelitian ini berbanding terbalik dengan hasil penelitian Liu, *et al* (2011), pada penambahan karbon aktif 20% ke dalam komposit membentuk tipe mesopori. Perbedaan hasil penelitian ini dapat disebabkan karena sifat material awal yang digunakan. Dalam penelitian Liu, *et al* (2011) mempergunakan material awal karbon aktif dari

komersial dari china, sedangkan material awal karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif dari kulit singkong. Menurut Rojikhi (2011), karbon aktif yang berasal dari senyawa bahan alam dengan struktur keras memiliki diameter sekitar 10-200 Å, hal ini menunjukkan tipe ukuran pori kulit singkong memiliki tipe pori cenderung mikro.



Gambar 6. Distribusi Ukuran Pori.

Klasifikasi ukuran pori komposit berdasarkan IUPAC dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis distribusi pori. Distribusi pori diperoleh dengan cara membuat grafik hubungan $dV(r)$ dengan jejari pori. Berdasarkan Gambar 6. dapat diketahui, ukuran mesopori dalam komposit mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah karbon aktif dalam komposit. Hal ini dapat disebabkan karena karakteristik komposit yang cenderung mendekati karbon aktif. Sehingga diindikasikan ukuran mikropori dalam komposit bertambah. Hasil penelitian ini sesuai dengan Chen, *et al* (2012). Menurut Chen, *et al* (2012), komposit γ -alumina - karbon aktif merupakan komposit dengan ukuran pori yang unik, dimana dalam penelitiannya diketahui bahwa komposit alumina – karbon aktif memiliki dua tipe ukuran pori yaitu mesopori yang teramati menggunakan metode BJH dan mikropori yang teramati menggunakan metode HK.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Semakin besar kandungan karbon aktif dalam komposit mengakibatkan interaksi yang terjadi antara γ -alumina dan karbon aktif semakin besar melalui ikatan hidrogen

rehidrasi. Sedangkan struktur pori γ -alumina dalam komposit tetap terjaga meskipun interaksi γ -alumina dan karbon aktif semakin

- b. Berdasarkan *Hysteresis Loop* komposit, diketahui bahwa karakteristik pori dari komposit mendekati karakteristik pori dari karbon aktif. Hal ini mengakibatkan tipe ukuran pori komposit yang teramati dari distribusi ukuran pori adalah penurunan ukuran mesopori dengan bertambahnya karbon aktif dalam komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, Y., Pantilata, I., and Suwaldi., 2007, Pengaruh Penambahan Sukrosa Terhadap Stabilitas Asetosal Dalam Dapar Fosfat, *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, vol. 4, no. 1, pp. 10-15.
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2014, Tanaman Pangan, diakses pada Jumat, 18 April 2014 pukul 12.15 WIB. (http://www.bps.go.id/tnmn_pgn.php).
- Chen, Y.Q., Ren-Ping, W., and Xian-Feng, Y.E., 2012, Structural Characterization and Property Study on The Activated Alumina-Activated Carbon Composite Material, *Chinese Journal Structure Chemistry*, vol. 31, no.3, pp. 315-320.
- Darmawan, 2006, Pengaruh Kulit Umbi Ketela Pohon Fermentasi terhadap Tampilan Kambing Kacang Jantan, *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, vol. 9, no. 2, pp. 115-122.
- Filho, N.L.D., and do Carmo, D.R., 2004, *Adsorption at Silica, Alumina, and Related Surface*, Marcell Dekker Inc, Brazil.
- Hartomo A. J and Purba, A.V., 1986, *Penyidikan Spektrometrik Senyawa Organik*. Edisi Ke-4, Erlangga, Jakarta, Terjemahan: *Spectrometric Identification of Organic Compound*. Silverstein, Bassler, and Morrill, 1981, John Wiley and Sons, Inc. pp. 95-180.
- Kannan, C., Sundaram, T., and Palvannan, T., 2005, Adsorption Of Malachite Green Onto *Pithophora Sp.*, A Fresh Water Algae: Equilibrium And Kinetic Modeling, *Process Biochemistry*, vol. 40, no. 8, pp. 2865-2872.
- Karim, M. R., Rahman, M.A., Miah, M.A.J., Ahmad, H., Yanagisawa, M., and Ito, M., 2011, Synthesis of γ -alumina Particles and Surface Characterization, *The Open Colloid Science Journal*, vol. 4, no.5, pp. 32-36.
- Liu, F., Xu, S., Chi, Y., and Xue, D., 2011, A Novel Alumina-Activated Carbon Composite Supported NiMo Catalyst for Hydrodesulfurization of Dibenzothiophene, *Catalysis Communications*, vol. 12, no. 12, pp. 521-524.
- Liu, P. K. T., Bergstrom, R. K., and Gatty, D. G., 1989, *Activated Carbon/Alumina Composite*, US paten No. 4.795.735.

- Ngandayani, D., 2011, *Pengaruh Konsentrasi Adsorbat, Temperatur dan Tegangan Permukaan Pada Proses Adsorpsi Gliserol Oleh Karbon Aktif*, Skripsi, Jurusan Kimia, FMIPA, UNS, Surakarta.
- Rojikhi, 2011, *Pemanfaatan Hasil Pirolisis Bulu Ayam Sebagai Adsorben Ion Na dan Fe dalam Larutan Simulasi*, Skripsi, Jakarta : Program Studi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Safnowandi, 2012, <http://safnowandi.wordpress.com/2012/11/03/pengawetan-makanan-untuk-mengendalikan-aktivitas-mikroba-perusak-makanan/> diakses pada 22 April 2014, pukul 18.25 WIB.
- Sudaryanto, Y., Hartono, S.B., Irawaty, W., Hindarso, H., and Ismadji S., 2006, High Surface Area Activated Carbons Prepared from Cassava Peel by Chemical Activation, *Journal of Bioresource Technology*, Vol. 97, No. 5, pp. 734-739.
- Yang, R.T., 2003, *Adsorbents: Fundamentals and Applications*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Yunianto, 2002, *Studi Pembuatan Karbon Aktif dari Baggase dengan Bahan Pengaktif H_2SO_4* , Skripsi, Surakarta, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sebelas Maret.