

**REVIEW: SINTESIS KARBON NANOPARTIKEL**

**Taufik Rahman<sup>1</sup>, Muhammad Abqori Fadhlulloh<sup>1</sup>, Asep Bayu Dani Nandiyanto<sup>1\*</sup>, Ahmad Mudzakir<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Prodi Kimia, Departemen Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Dr. Setiabudhi no. 229, Bandung 40154, Jawa Barat, Indonesia

\*Email: [nandiyanto@upi.edu](mailto:nandiyanto@upi.edu)

**Abstrak**

Karbon merupakan suatu material yang memiliki berbagai keunggulan dari segi sifat fisika dan kimia, sehingga banyak dikembangkan oleh para peneliti saat ini. Keunggulan yang dimiliki oleh karbon ini menjadikannya sebagai material dengan aplikasi yang luas. Performa dari karbon ini dipengaruhi oleh morfologi (seperti: karbon koloidal, *nanotube*, fullerenese, grafit, grafen, *colloidal sphere*, nanofiber, *porous carbon*, *nanowire*, dan karbon aktif) yang dimiliki akibat metode dan kondisi sintesis. Paper ini terbagi kedalam tiga bagian utama, yaitu: pendahuluan yang berisikan tinjauan umum tentang material karbon, kemudian akan dikaji beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses sintesis partikel karbon, diantaranya: metode karbonisasi, metode hidrotermal, dan metode template untuk sintesis karbon berpori. Bagian terakhir dari paper ini adalah aplikasi yang meninjau pemanfaatan dari keunggulan partikel karbon tersebut dalam berbagai bidang, seperti: sensor antibodi, elektroda baterai, dan penyerap limbah.

**Kata Kunci:** Karbon, Metode, Aplikasi

**Abstract**

*Carbon is a material which has many advantages in term of physical and chemical properties, so it has been developed by researcher today. Advantages possessed by this carbon material to make it as broad application. Performance of this carbon is influences by the morphology (e.g. colloidal carbon, nanotube, fullerenese, graphite, graphene, colloidal sphere, nanofiber, porous carbon, nanowire, and activated carbon) owned as a result of the method and conditions of synthesis. This paper is divided into three main parts: an introduction that contains an overview of carbon materials, then will be examined some of the methods that can be used in the synthesis of carbon particles, including: carbonization, hydrothermal, and template method for synthesis of porous carbon. The last part of this paper is an application that is reviewing the use of the advantages of carbon particles in various fields, such as: antibodies sensor, battery electrodes, and an adsorbent waste.*

**Keywords:** Carbon, Method, Application

**1. PENDAHULUAN**

Dalam paper ini, akan dibahas mengenai beberapa metode terbaru yang digunakan para peneliti dalam melakukan sintesis partikel karbon beserta aplikasinya dalam bidang elektroda baterai, sensor antibodi, dan penyerap limbah. Kelebihan dari paper ini adalah adanya penjabaran prinsip umum terkait keunggulan dari metode sintesis partikel karbon yang

lebih mendalam, dibahas tentang berbagai sumber karbon alternatif yang dapat dijadikan rujukan oleh para peneliti yang akan datang, dan memberikan inspirasi kepada para peneliti untuk mengembangkan aplikasi partikel karbon dalam bidang biologis, penanganan limbah, dan material elektroda.

Karbon merupakan salah satu material yang memiliki beragam morfologi, diantaranya: karbon

koloidal, nanotube, fullerenese, grafit, grafen, colloidal sphere, nanofiber, porous carbon, nanowire, dan karbon aktif [Cui, et al., (2010); Ratchacat, et al., (2010); Hu, et al.,(2008); Hu, et al., (2012)]. Perbedaan morfologi ini akan berakibat pada luasnya aplikasi dari karbon tersebut, seperti: pendukung katalis, adsorben, penyimpan gas, teknologi pemisahan, elektroda baterai, template material berpori, sel bahan bakar, dan sel biologis. Selain itu, beberapa partikel karbon dengan morfologi tertentu akan memiliki aplikasi yang berbeda, diantaranya:

a. Karbon sferik diaplikasikan dalam nanodevice, penyimpan energi, teknologi pemisahan, adsorben, katalis, anoda baterai, dan template pembentuk material berpori [Ratchacat, et al., (2010); Brun, et al., (2013)].

b. Karbon berpori digunakan sebagai penukar ion, katalis, elektroda baterai, pengisi polimer, ultrafiltrasi, sensor, bahan bakar, adsorben, dan membran [Liu, et al., (2005); Goodman, et al., (2013); Pang, et al., (2004)].

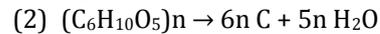
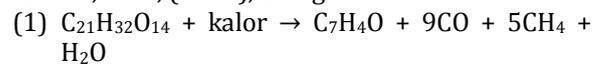
c. Karbon koloidal memiliki keunggulan, diantaranya: banyak gugus fungsi, mudah terdispersi, mempunyai sisi aktif, dan mudah dikompositkan [Hu, et al., (2012); Cui, et al., (2010)].

Selain dari morfologi dan aplikasinya yang luas, partikel karbon juga banyak diteliti karena memiliki beberapa keunggulan, seperti: tidak berbahaya, murah, kapasitas volumetrik tinggi, kapasitas

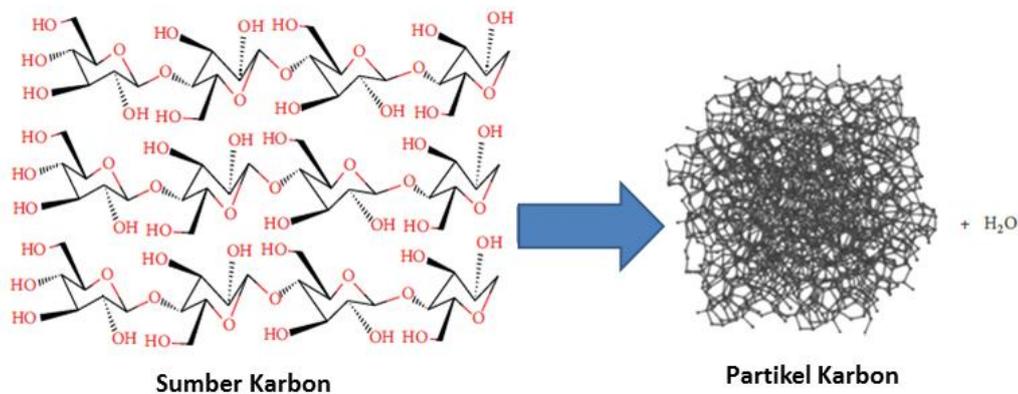
refersibel tinggi, mudah dikompositkan, berlimpah, murah, dan stabil.

Dewasa ini, proses sintesis partikel karbon dengan ukuran rentang 0,10 – 1 µm dari berbagai sumber karbon telah banyak dilakukan. Beberapa sumber karbon yang banyak digunakan oleh para peneliti, diantaranya: gula, glukosa, siklodekstrin, fruktosa, selulosa, sukrosa, amilopektin, tepung, molekul organik, dan limbah biomassa (monosakarida, heksosa, dan pentosa) yang memiliki kelimpahan tinggi, ramah lingkungan, dan kualitas produk yang baik. [Ryu, et al., (2010); Hu, et al., (2012)].

Pada dasarnya, sintesis partikel karbon dapat dilakukan dengan cara mendegradasi sumber karbon pada suhu tinggi. Secara umum, sintesis partikel karbon dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu: karbonisasi (1) dan dehidrasi (2) menurut persamaan dari Isahak, et al., (2013), sebagai berikut:



Metode dehidrasi dianggap lebih unggul daripada metode karbonisasi, karena randemen karbon yang dihasilkan lebih berlimpah dan menghasilkan senyawa samping hanya berupa molekul H<sub>2</sub>O, sedangkan pada metode karbonisasi akan dihasilkan berbagai senyawa samping, diantaranya: CO, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>O yang akan menurunkan randemen karbon yang diperoleh. Kedua metode tersebut dapat diilustrasikan pada **Gambar 1** dan **2**, sebagai berikut:



**Gambar 1.** Sintesis karbon dengan metode dehidrasi (Sumber: Isahak, et al., 2013)



**Gambar 2.** Sintesis karbon dengan metode karbonisasi(Sumber: Ugheoke dan Othman, 2012)

Namun, metode karbonisasi yang didukung dengan hidrotermal memiliki keunggulan dapat mengatur morfologi karbon sesuai dengan suhu reaktor. Pada suhu reaktor yang tinggi akan diperoleh produk karbon berupa: nanotube, grafit, dan karbon

aktif, sedangkan pada suhu reaktor yang rendah akan diperoleh material karbon dengan ukuran, permukaan, dan gugus fungsi yang beragam (Hu, et al., 2012).

Penelitian tentang sintesis partikel karbon lebih tertuju pada optimasi struktur, morfologi, dan ukuran yang ditujukan untuk memperoleh karbon yang berukuran kecil dengan kristalinitas tinggi menggunakan metode yang efisien dalam penggunaan energi [Krolow, et al., (2012); Hu, et al., (2012)]. Berbagai metode sintesis partikel karbon yang telah dikembangkan adalah karbonisasi, high voltage arc electricity, laser ablation, dan karbonisasi hidrotermal (Hu, et al., 2012).

Berdasarkan keunggulan dan nilai aplikatif yang tinggi dari karbon, maka banyak peneliti yang telah melakukan sintesis karbon dengan ukuran dan morfologi tertentu. Berikut merupakan beberapa penelitian yang telah dilaporkan terkait sintesis karbon yang telah dipublikasikan:

## 2. METODE

### 2.1 Metode Hidrotermal

Pada dasarnya metode ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu: pemanasan pada suhu rendah dan karbonisasi pada suhu tinggi (Wang, et al., 2001). Pada prinsipnya metode ini memproduksi karbon dengan cara: merubah kelarutan, melelehkan bagian kristalin, mempercepat interaksi fisikokimia, perantara reaksi asam/basa atau ionik, dan pengendapan material karbon. Metode ini dibagi kedalam dua daerah suhu, yaitu: 300-800°C untuk membentuk karbon nanotube, material grafit, dan karbon aktif. Pada suhu kurang dari 300°C akan terbentuk material karbon fungsional akibat proses polimerisasi dan dehidrasi. Metode ini memiliki keunggulan, diantaranya:

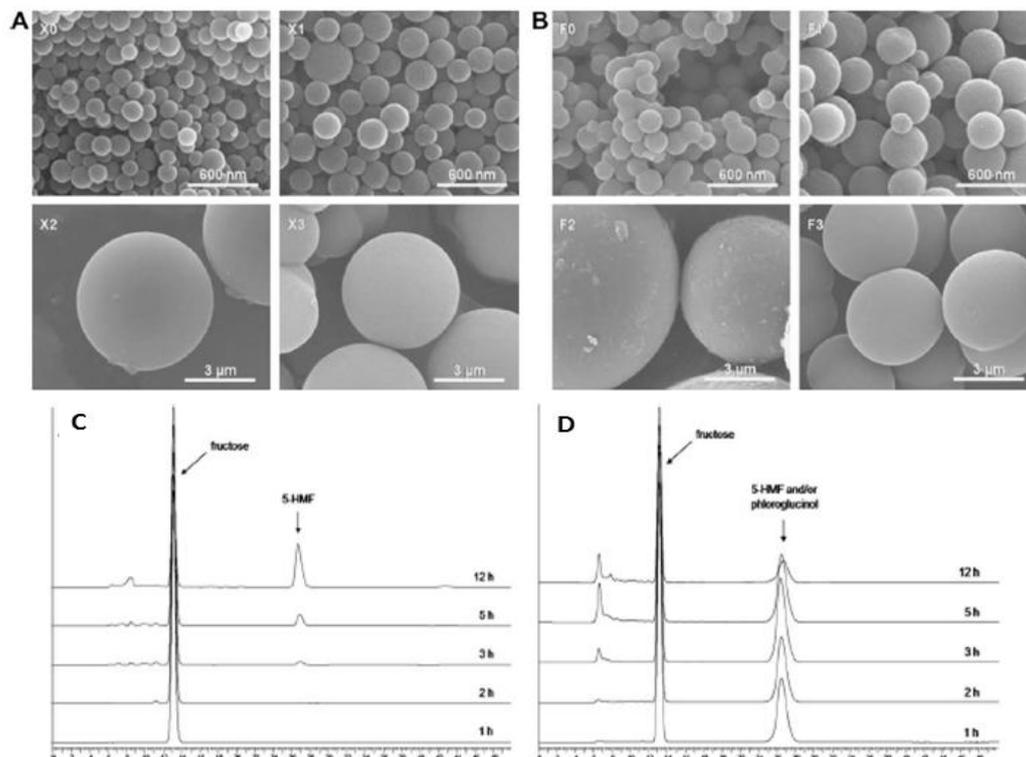
1. Ukuran karbon ditentukan oleh variabel reaksi seperti: suhu, waktu, dan konsentrasi

reaktan ketika proses hidrotermal (Ryu, et al., 2010).

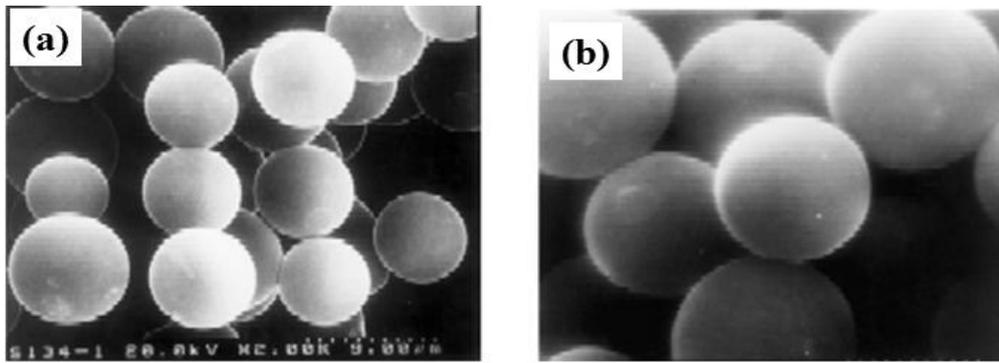
2. Permukaan karbon lebih halus.
3. Ramah lingkungan dan murah untuk membuat karbon yang berbasis biomassa (Brun, et al., 2013).
4. Metode ini bisa digunakan untuk memperoleh produk, seperti: oksida, halida, zeolit, sulfida, material berpori, dan senyawa anorganik (oksida fungsional dan nanomaterial non oksida) (Hu, et al., 2012).
5. Bahan baku dan proses sintesis yang aman, menggunakan sumber terbarukan, instrumentasi dan teknik yang sederhana, mudah mengkopositkan, dan murah (Hu, et al., 2012).

Ryu, et al., (2010), telah melakukan sintesis karbon mikrosferik dari senyawa monosakarida (xylosa dan fruktosa) dan fenolik (fenol, resersinol, dan floroglusinol) dengan metode hidrotermal. Pada penelitiannya, dilakukan pencampuran sumber karbon dalam aquades dalam reaktor autoclave pada suhu 170-190°C selama 12 jam. Hasil menunjukkan diameter karbon yang diperoleh sebesar 1 - 4 µm dengan pengotor berupa residu fruktosa dan hidroksi metil furfural (HMF) (**Gambar 3**).

Wang, et al., (2001), telah melakukan sintesis karbon dengan ukuran yang homogen dari larutan gula sebagai sumber karbon. Proses sintesis dilakukan dalam reaktor autoclave pada suhu 190°C selama 5 jam. Hasil menunjukkan bahwa partikel karbon yang terbentuk memiliki morfologi bulat dengan ukuran 1-5 µm dan pori yang terbentuk sebesar 0,4 nm (**Gambar 4**).



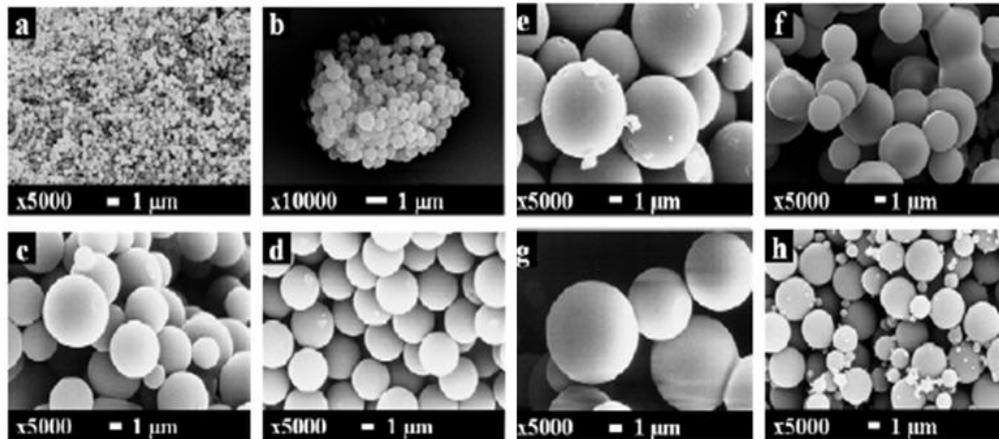
**Gambar 3.** SEM dari karbon berbasis (A) xylosa dan (B) fruktosa. HPLC dari larutan produk berbasis (C) fruktosa dan (D) xylose (Sumber: Ryu, et al., 2010)



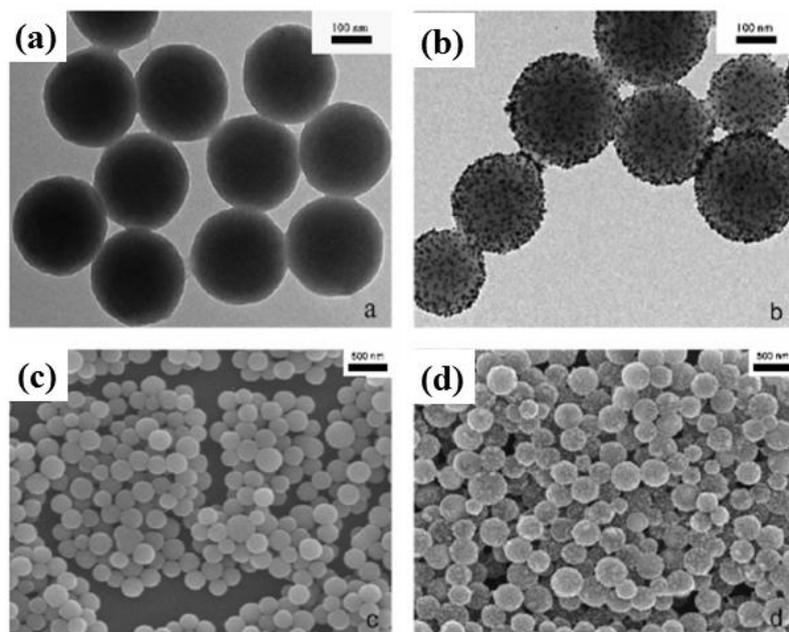
**Gambar 4.** SEM produk karbon dengan diameter (a) 5 dan (b) 1 μm (Sumber: Wang, et al., 2001)

Ratchacat, et al., (2010), telah melakukan sintesis karbon mikrosferik yang bersumber dari tepung menggunakan metode hidrotermal diiringi karbonisasi. Proses sintesis dilakukan dalam reaktor autoclave dengan suhu 180°C selama 12 jam. Hasil menunjukkan bahwa karbon berbentuk bulat halus

dengan ukuran 0,40 – 4 μm (**Gambar 5**). Fenomena lain juga menunjukkan bahwa ukuran partikel karbon yang dihasilkan ditentukan oleh tingkat kelarutan, jenis, dan komposisi dari tepung yang merupakan sumber karbon.



**Gambar 5.** SEM produk karbon dengan sumber karbon dari: (a) HI-CAP 100, (b) HI-CAP 100 perbesar 10.000, (c) CAPSUL, (d) jagung, (e) tapioka, (f) batang padi, (g) gandum, dan (h) selulosa padi (Sumber: Ratchacat, et al., 2010)



**Gambar 6.** Visualisasi (a) TEM dan (c) SEM dari karbon koloidal nanosferik, (b) TEM dan (d) SEM dari komposit karbon-Au nanopartikel (Sumber: Cui, et al., 2008)

Cui, et al., (2008), telah melakukan sintesis material karbon yang digunakan sebagai komposit Au nanopartikel-karbon dalam sensor antibodi. Karbon koloidal berhasil dibentuk dengan metode hidrotermal gelombang mikro dari larutan glukosa. Hasil menunjukkan bahwa karbon koloidal yang diperoleh berbentuk bulat dengan ukuran 250 nm dengan partikel emas dipermukaan (**Gambar 6**).

## 2.2 Metode Template untuk Karbon Berpori

Pada prinsipnya, proses sintesis karbon berpori dengan menggunakan template tertentu harus bisa menghilangkan template tanpa merusak karbon yang

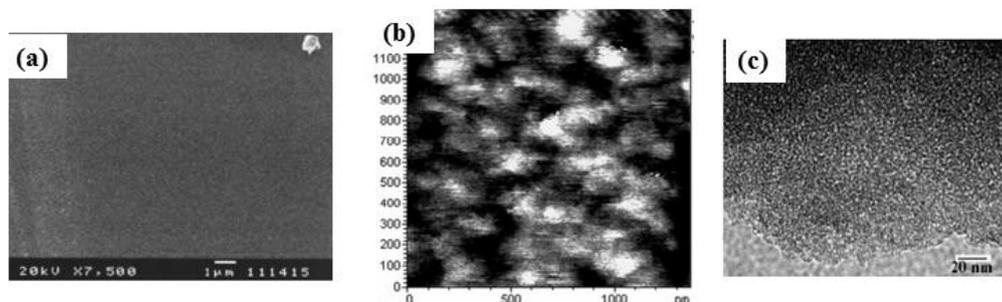
telah terbentuk pada tahap akhir reaksi (Goodman, et al., 2013). Metode ini mencampurkan sumber silika kedalam sumber karbon, kemudian campuran tersebut dipanaskan hingga terbentuk komposit yang tersusun atas padatan karbon dan silika. Pada tahap akhir, silika dihilangkan dengan cara diekstrak menggunakan pelarut basa (**Gambar 7**) (Pang, et al., 2004). Selain itu, untuk melakukan sintesis karbon berpori yang berbasis biomassa dapat dilakukan dengan cara menggunakan template tertentu kedalam biomassa yang mengandung karbohidrat (Hu, et al., 2008).



**Gambar 7.** Prinsip dasar pembuatan karbon berpori (Sumber: Pang, et al., 2004)

Pang, et al., (2004), telah melakukan sintesis karbon berpori dengan menggunakan bahan baku karbon dari sukrosa dan template merupakan tetra etil orto silikat (TEOS). Penelitian dilakukan dengan

dua tahap, yaitu: karbonisasi dan pencucian silika dengan asam florida (HF). Produk yang diperoleh merupakan lembaran karbon yang memiliki pori 2 nm (**Gambar 8**).



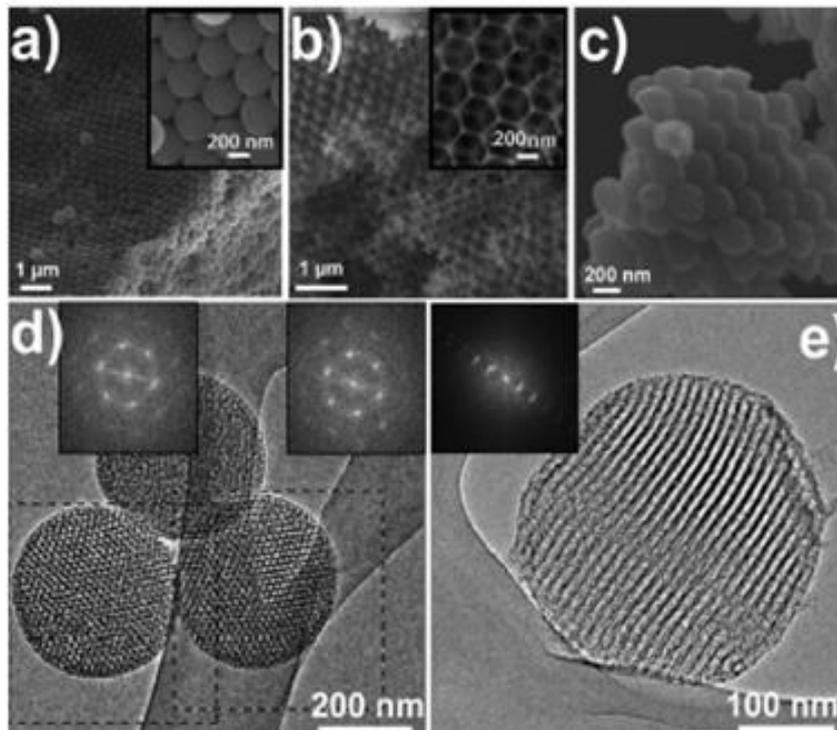
**Gambar 8.** Hasil karakterisasi karbon film: (a) SEM tampak atas, (b) AFM, dan (c) TEM (Sumber: Pang, et al., 2004)

Schuster, et al., (2012), telah melakukan sintesis karbon nanopartikel berpori yang bersumber dari poli metil meta akrilat (PMMA) dan silika sebagai pembentuk pori. Endapan kemudian dikarbonisasi untuk menghilangkan kandungan silika dari komposit. Hasil menunjukkan karbon nanopartikel berpori berukuran 300 nm (**Gambar 9**).

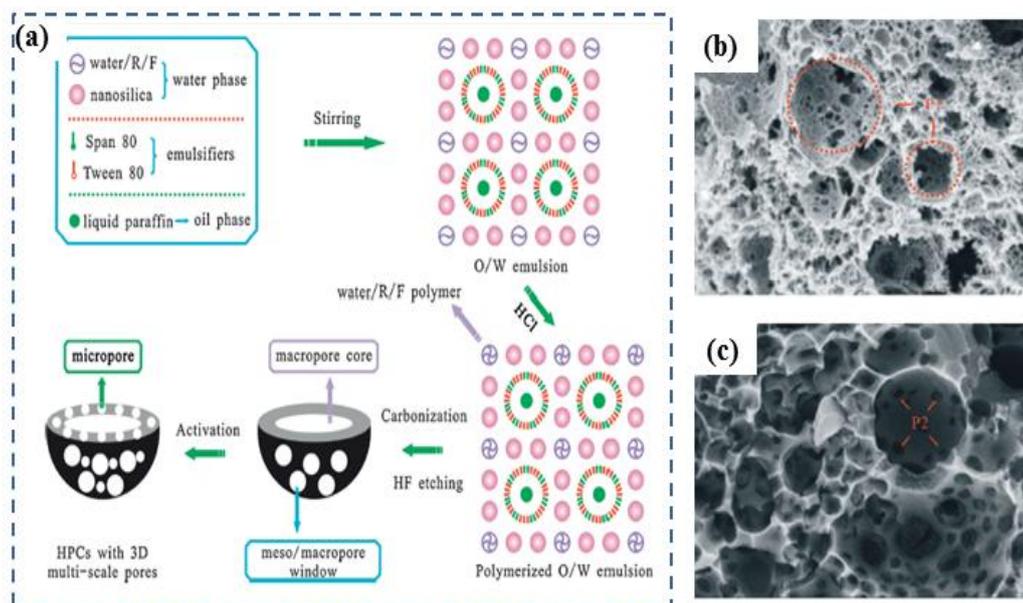
Liu, et al., (2014), telah mensintesis karbon berpori yang bersumber dari parafin cair, silika sebagai pengatur porositas karbon, dan surfaktan sebagai pendispersi parafin dalam medium air. Penelitian yang dilakukan terdiri dari dua tahap, yaitu: tahap awal berupa pembuatan komposit karbon/silika dengan metode karbonisasi parafin, silika dalam

karbon kemudian dihilangkan dengan menggunakan HF atau kalium hidroksida (KOH) (**Gambar 10**).

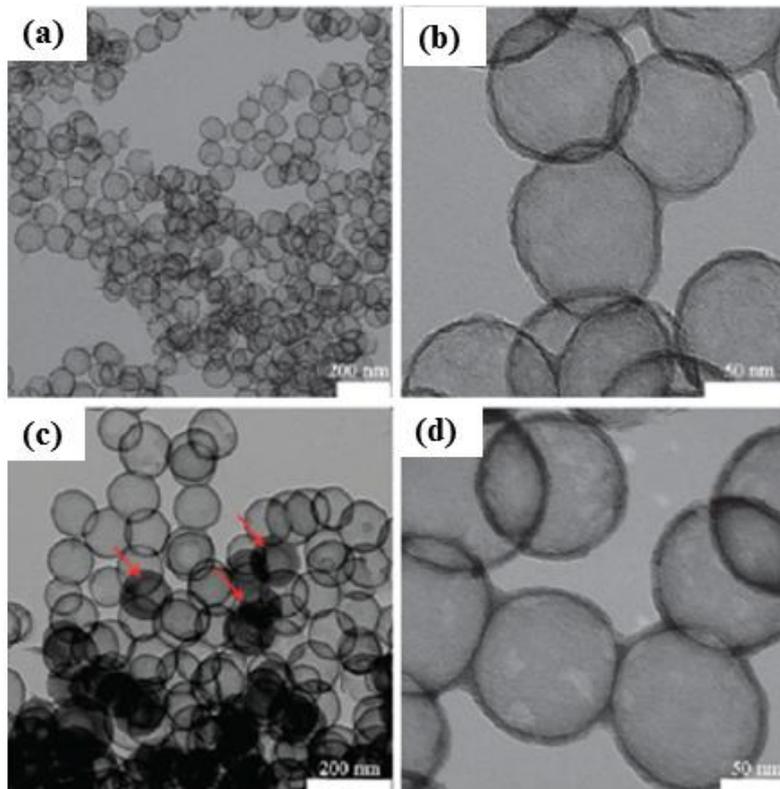
Brun, et al., (2013), telah membuat karbon berpori dengan metode hidrotermal didukung oleh karbonisasi menggunakan monosakarida (xylosa dan glukosa) sebagai sumber karbon dan silika yang berasal dari sintesis metode stober dari TEOS sebagai template. Penelitian ini dilakukan proses komposit antara karbon dan silika, kemudian silika dihilangkan dengan menggunakan amonium hidrogen diflorida. Hasil yang diperoleh berupa karbon berpori dengan ukuran 100 nm dan pori 5-8 nm (**Gambar 11**).



**Gambar 9.** Visualisasi SEM dari: (a) PMMA, (b) silika, (c) produk karbon berpori, (d,e) TEM dari produk karbon berpori(Sumber: Schuster, et al., 2012)



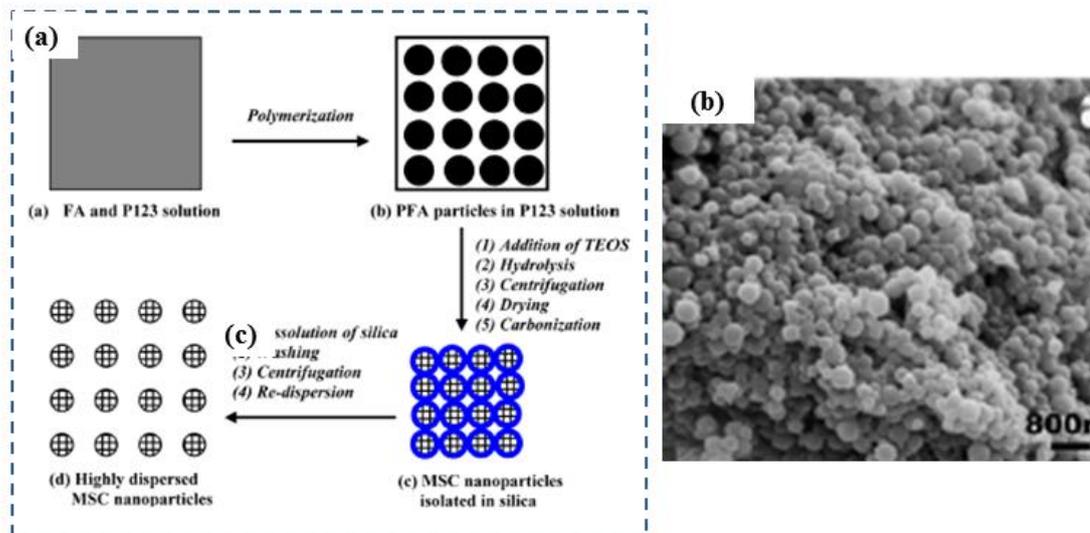
**Gambar 10.** (a) Ilustrasi proses sintesis karbon berpori, visualisasi SEM dari karbon berpori dengan perbesaran: (b) rendah dan (c) tinggi(Sumber: Liu, et al., 2014)



**Gambar 11.** TEM dari produk karbon berbasis: (a, b) xylosa dan (c, d) glukosa(Sumber: Brun, et al., 2013)

Liu, et al., (2005) telah membuat partikel karbon mikropori dari poli (furfuril alkohol) dengan metode karbonisasi. Polimerisasi fulfuril alkohol harus dicegah agar tidak berbentuk batang dengan

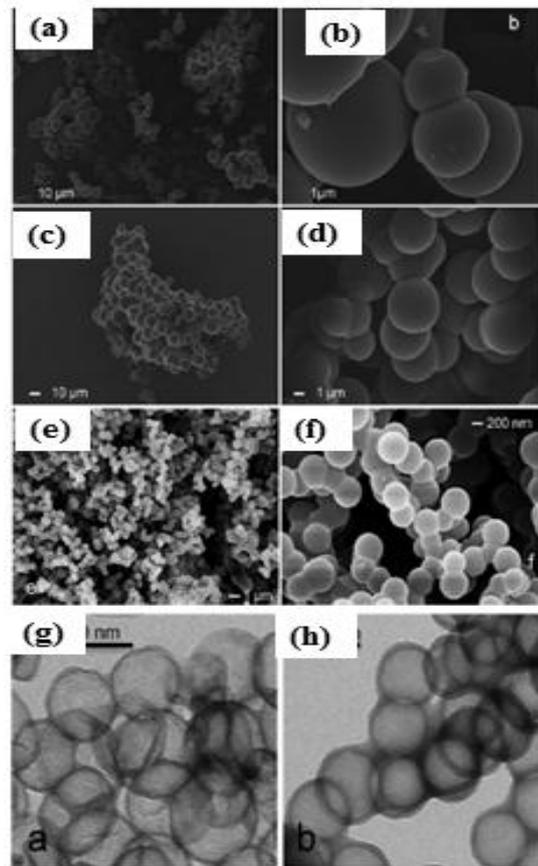
menambahkan silika atau memperlambat proses polimerisasi dengan menggunakan surfaktan. Hasil menunjukkan karbon yang terbentuk berbentuk bulat dengan ukuran 260-320 nm (**Gambar 12**).



**Gambar 12.** (a) Ilustrasi sintesis karbon berpori dan (b) TEM dari karbon(Sumber: Liu, et al., 2005)

Falco, et al., (2013), telah melakukan sintesis karbon berpori dengan metode hidrotermal. Sumber karbon yang digunakan adalah hemiselulosa yang dihidrolisis, bonggol jagung, dan glukosa. Template

pori yang digunakan adalah silika nanopartikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk karbon berbentuk bulat (**Gambar 13**)

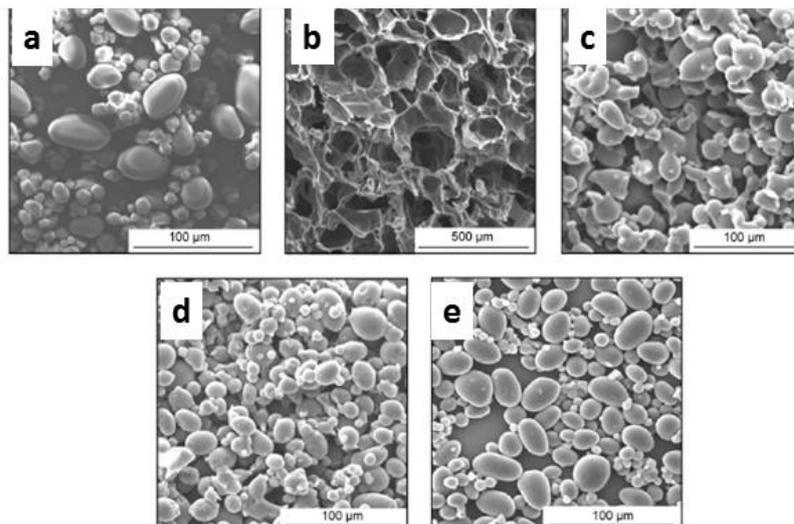


**Gambar 13.** Hasil SEM produk karbon dari: (a, b) hidrolisis hemiselulosa, (c, d) bonggol jagung, (e, f) glukosa, dan (g, h) TEM produk karbon nanopartikel(Sumber: Falco, et al., 2013)

### 2.3 Metode Karbonisasi

Metode ini dibagi kedalam dua tahap pemanasan, yaitu: pemanasan yang dilakukan pada suhu rendah untuk mengurangi kadar air dan mendekstruksi struktur kristalin, sedangkan perlakuan dengan menggunakan suhu tinggi dilakukan untuk mengubah sumber karbon menjadi partikel karbon (Shuo, et al., 2010).

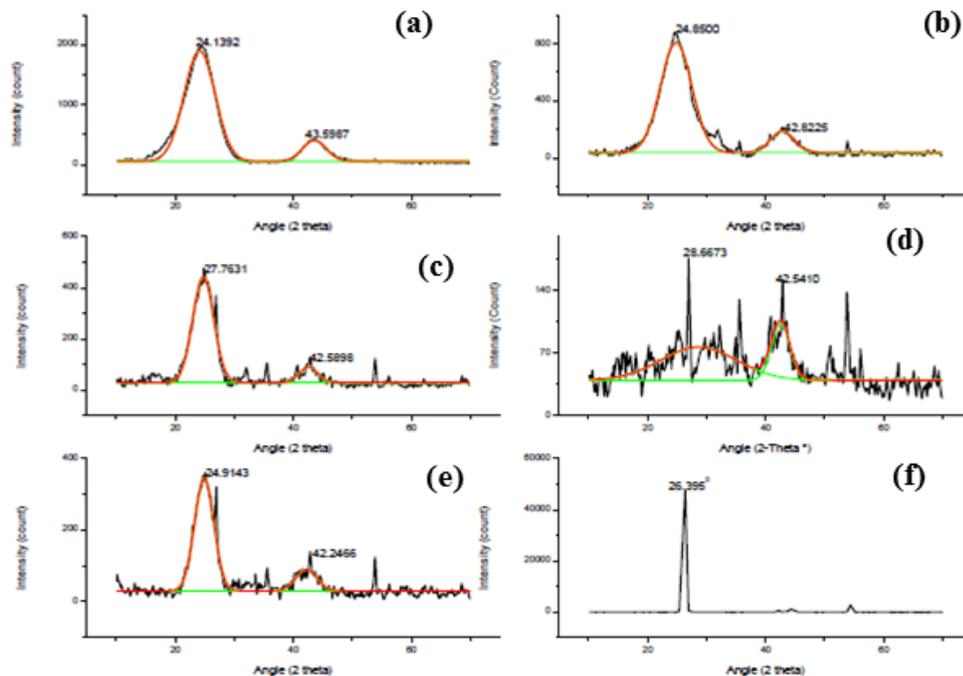
Shuo, et al., (2010), telah melakukan fabrikasi karbon berbentuk bulat dari tepung kentang dengan menggunakan dua tahap, yaitu pemanasan pada suhu rendah dan karbonisasi pada suhu tinggi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lama waktu karbonisasi ukuran karbon yang diperoleh semakin kecil (**Gambar 14**).



**Gambar 14.** SEM dari (a) tepung kentang dan pemanasan pada: (a) 0, (b) 4, (c) 8, dan (e) 12 jam(Sumber: Shuo, et al., 2010)

Mohan, et al., (2012), telah melakukan sintesis karbon nanosperik dari jelaga yang diperoleh dari hasil dekomposisi termal bensin, diesel, parafin, dan pelumas. Hasil menunjukkan bahwa karbon

nanosperik yang terbentuk berukuran 26-100 nm dengan mayoritas karbon merupakan grafit ( $2\theta = 25^\circ$  dan  $42^\circ$ ) (**Gambar 15**).



**Gambar 15.** Difraktogram XRD dari: (a) karbon, (b) parafin, (c) bensin, (d) pelumas, (e) diesel, dan (f) grafit(Sumber: Mohan, et al., 2012)

### 3. APLIKASI

#### 3.1. Komposit dengan Logam sebagai Sensor Antibodi

Cui, et al., (2010), melakukan penelitian terkait pemanfaatan komposit karbon/Au hasil penelitian sebelumnya oleh Cui, et al., (2008) sebagai sensor antibodi (**Gambar 16**). Metode yang digunakan adalah hidrotermal dengan sumber karbon berasal dari larutan glukosa.

#### 3.2. Komposit sebagai Elektroda Baterai

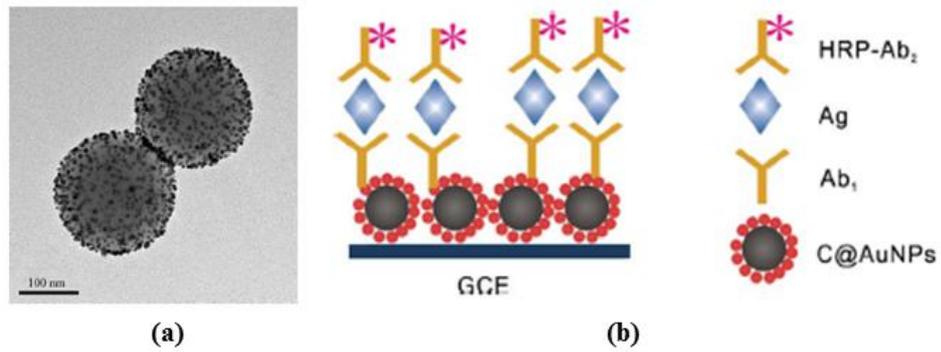
Cui, et al., (2009), melakukan sintesis komposit serat nano berbahan karbon/silika (**Gambar 17**) sebagai elektroda untuk baterai litium. Hasil dilaporkan bahwa elektroda yang diperoleh memiliki kapasitas penyimpanan 2000 mAh/g.

#### 3.3. Karbon Aktif untuk Penyerap Limbah

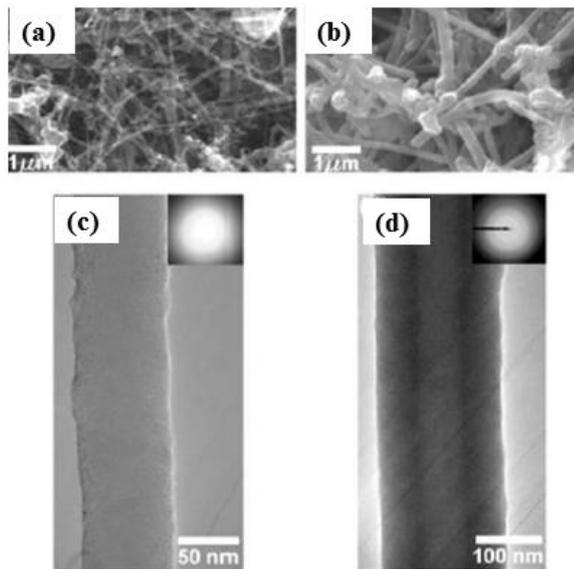
Basta, et al., (2009), melakukan aktivasi jerami padi dengan menggunakan KOH untuk menghasilkan karbon aktif sebagai adsorben *methylene blue*. Preparasi jerami padi dilakukan dengan tiga cara, yaitu: mekanik, *chemical* (NaOH), dan campuran keduanya. Karbon disintesis menggunakan metode karbonisasi pada suhu  $800^\circ\text{C}$  yang kemudian ditambah KOH sebagai pengaktivasi. Aktivasi

dilakukan dengan KOH dengan dua cara, yaitu: (1) sebelum dan (2) sesudah karbonisasi. Produk karbon hasil aktivasi dengan cara 2 memiliki luas area dan kemampuan menyerap limbah yang lebih baik (**Gambar 18**).

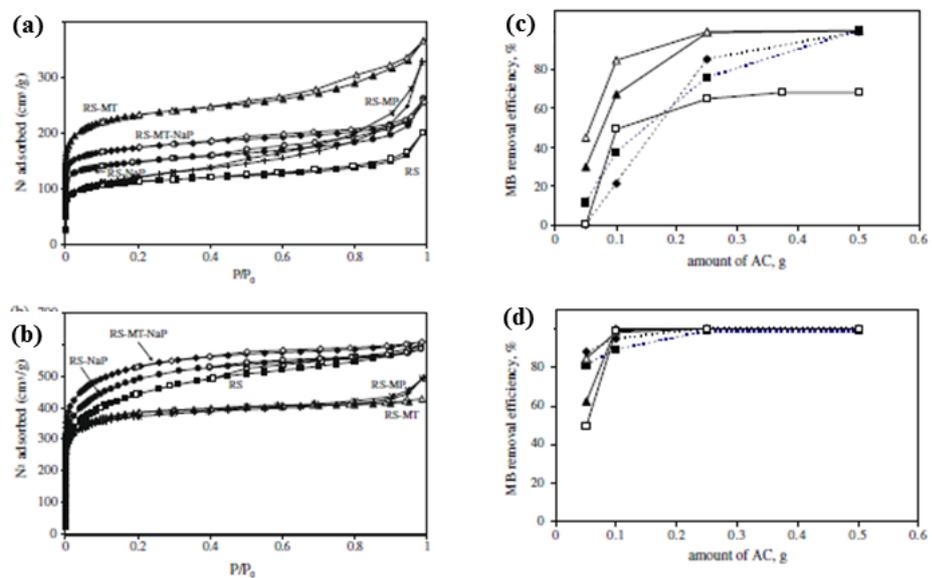
Tseng dan Tseng, (2005), telah membuat karbon aktif berpori dengan menggunakan kalium hidroksida (KOH) sebagai aktivator. Pada penelitiannya, sumber karbon yang digunakan adalah bonggol jangung yang dipanaskan dengan metode karbonisasi pada suhu  $450^\circ\text{C}$ , sedangkan proses aktivasi dilakukan dengan menggunakan perbandingan massa KOH/abu sebesar 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; dan 6. Proses evaluasi adsorpsi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan adsorbat berupa: *acid blue74* (AB74), *basic brown 1* (BB1), *methylene blue* (MB), *2,4-dichlorophenol* (2,4-DCP), *4-chlorophenol* (4-CP), dan *phenol*. Hasil menunjukkan bahwa karbon aktif kelompok I (KOH/abu= 0,5-2) memiliki luas permukaan sebesar 841 sampai 1221  $\text{m}^2/\text{g}$ , sedangkan kelompok II (KOH/abu= 3-6) memiliki luas permukaan sebesar 1976 sampai 2595  $\text{m}^2/\text{g}$ .



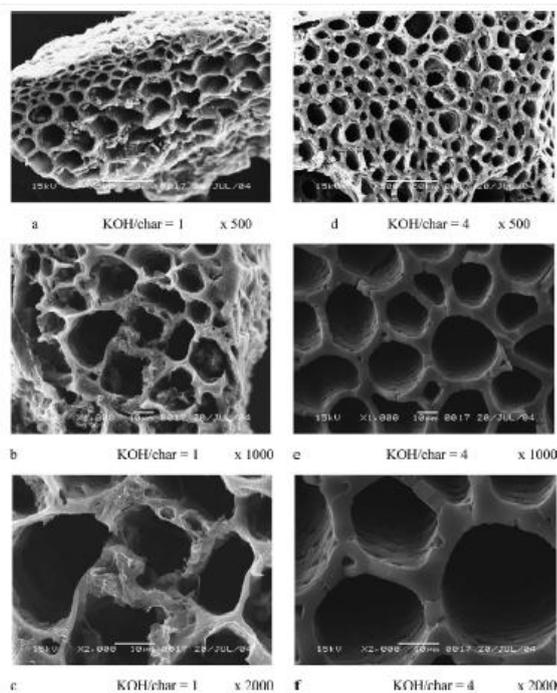
**Gambar 16.** (a) TEM komposit karbon/Au dan (b) Ilustrasi sensor antibodi (Sumber: Cui, *et al.*, 2010)



**Gambar 17.** SEM dari: (a) karbon sebelum dikompositkan, (b) setelah dikompositkan dengan silika, TEM dari: (c) serat karbon, dan (d) komposit karbon/silica (Sumber: Cui, *et al.*, 2009)



**Gambar 18.** Adsorpsi  $N_2$  oleh karbon hasil aktivasi (a) cara 1, (b) cara 2, adsorpsi *methylene blue* oleh karbon hasil aktivasi (c) cara 1, dan (d) cara 2 (Sumber: Basta, *et al.*, 2009)



**Gambar 19.** Hasil SEM dari KOH/abu: (a,b,c) 1 dan (d,e,f) 4(Sumber: Tseng dan Tseng, 2005)

#### 4. KESIMPULAN

Partikel karbon dapat disintesis dengan berbagai macam metode, diantaranya: metode karbonisasi, metode hidrotermal, dan metode *template* untuk karbon berpori. Keunggulan dari partikel karbon dimanfaatkan dalam beberapa aplikasi, seperti elektroda baterai, penyerap limbah, dan sensor antibodi.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

Riset ini didukung dan didanai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Dirjen DIKTI) untuk Program Unggulan Perguruan Tinggi Negeri (PUPTN). T. R. dan M. A. F. juga berterima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Dirjen DIKTI) untuk Program Kreativitas Mahasiswa - Penelitian Eksakta (PKM-PE).

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

Brun, Nicolas; Ken Sakaushi; Linghui Yu; Lars Giebeler; Ju'rgen Eckertbd; dan Magdalena M. Titirici. Hydrothermal Carbon Based Nanostructured Hollow Spheres as Electrode Materials for High Power Lithium Sulfur Batteries. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2013, 15: 6080—6087.

Basta, A. H.; V. Fierro; H. El Saied; dan A. Celzard. 2 Steps KOH Activation of Rice Straw: An Efficient Method for Preparing High Performance Activated Carbons. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 3941–3947.

Cui, Rongjing dan Jun Jie Zhu. Fabrication of A Novel Electrochemical Immunosensor Based on The Gold Nanoparticles/Colloidal Carbon Nanosphere Hybrid Material. *Electrochimica Acta*, 2010, 55: 7814–7817.

Cui, Li Feng; Yuan Yang; Ching Mei Hsu; dan Yi Cui. Carbon-Silicon Core-Shell Nanowires as High Capacity Electrode for Lithium Ion Batteries. *Nano Letter*, 2009, 9(9): 3370-3374.

Cui, Rongjing; Chang Liu; Jianming Shen; Di Gao; Jun Jie Zhu; dan Hong Yuan Chen. Gold Nanoparticle-Colloidal Carbon Nanosphere Hybrid Material: Preparation, Characterization, and Application for an Amplified Electrochemical Immunoassay. *Advance Functional Matererials*, 2008, 18: 2197–2204.

Falco, Camilo; Juan Manuel Sieben; Nicolas Brun; Marta Sevilla; Torbjorn van der Maehlen; Emilia Morall; Diego Cazorla Amor; dan Maria Magdalena Titirici. Hydrothermal Carbons from Hemicellulose-Derived Aqueous Hydrolysis Products as Electrode Materials for Supercapacitors. *Chem. Sus. Chem*, 2013, 6: 374 – 382.

Goodman, Matthew D; Kevin A. Arpin; Agustin Mihi; Narihito Tatsuda; Kazuhisa Yano; dan Paul V. Braun. Enabling New Classes of Templated Materials through Mesoporous Carbon Colloidal Crystals. *Advance Optical Material*, 2013, 1: 300–304.

Hu, Bo; Shu Hong Yu; Kan Wang; Lei Liu; dan Xue-Wei Xu. Functional Carbonaceous Materials from Hydrothermal Carbonization of Biomass: An Effective Chemical Process. *International Journal of Inorganic Chemistry*, 2008: 5414–5423.

Hu, Bo; Kan Wang; Liheng Wu; Shu Hong Yu; Markus Antonietti; dan Maria Magdalena Titirici. Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Advance Materials*, 2010, 22: 1–16.

- Isahak, Wan Nor Roslam Wan; Mohamed Wahab Mahamed Hisham; dan Mohd Ambar Yarmo. Highly Porous Carbon Materials from Biomass by Chemical and Carbonization Method: A Comparison Study. *Journal of Chemistry*, 2013: 1-6.
- Krolow, M. Z., C. A. Hartwig; G. C. Link; C. W. Raubach; J. S. F. Pereira; R. S. Picoloto; M. R. F. Gonçalves; N. L. V. Carreño; dan M. F. Mesko. Synthesis and Characterisation of Carbon Nanocomposites. *Carbon Nanostructures*, 2011: 33-49.
- Li, Haitao.; Xiaodie He; Yang Liu; Hui Huang; Suoyuan Lian; Shuit Tong Lee; dan Zhenhui Kang. One-Step Ultrasonic Synthesis of Water Soluble Carbon Nanoparticles with Excellent Photoluminescent Properties. *Carbon*, 2011, 49: 605-609.
- Liu, Jin; Jianfeng Yao; Huanting Wang; dan Kwon Yu Chan. Highly Dispersible Microporous Carbon Particles from Furfuryl Alcohol. *NSTI Nanotech*, 2005, 2: 171-174.
- Liu, Ming Xian; Li Hua Gan; Yang Li; Da Zhang Zhu; Zi Jie Xu; dan Long Wu Chen. Synthesis and Electrochemical Performance of Hierarchical Porous Carbons with 3D Open-Cell Structure Based on Nanosilica Embedded Emulsion Templated Polymerization. *Chinese Chemical Letters*, 2014, 25: 897-901.
- Mohan, Anu N. dan B. Manoj. Synthesis and Characterization of Carbon Nanospheres from Hydrocarbon Soot. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012, 7: 9537 - 9549.
- Pang, Jiebin; Xuan Li; Donghai Wang; Zhiwang Wu; Vijay T. Jhon; Zhenzhong Yang; dan Yunfeng Lu. Silica Templated Continuous Mesoporous Carbon Film by A Spin Coating Technique. *Advanced Material*, 2004, 16 (11): 884-887.
- Ratchahat, S. N.; Viriya-empikul; K. Faungnawakij; T. Charinpanitkul; dan A. Sootitawat. Synthesis of Carbon Microspheres from Starch by hydrothermal Process. *Science Journal Ubon Ratchatani University*, 2010, 1(2): 40-45.
- Ryu, Jihye; Young-Woong Suh; Dong Jin Suh; dan Dong June Ahn. Hydrothermal Preparation of Carbon Microspheres from Mono-Saccharides and Phenolic Compounds. *Carbon*, 2010, 48: 1990 - 1998.
- Schuster, Jörg; Guang He; Benjamin Mandlmeier; Tae-eun Yim; Kyu Tae Lee; Thomas Bein; dan Linda F. Nazar. Spherical Ordered Mesoporous Carbon Nanoparticles with High Porosity for Lithium-Sulfur Batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 2011, 51: 3591 - 3595.
- Shuo, Zhao; Wang Cheng Yang; Chen Ming Ming; Shi Zhi Qiang; dan Liu Na. Preparation of Carbon Spheres from Potato Starch and Its Stabilization Mechanism. *New carbon materials*, 2010, 25(6): 438-443.
- Tseng, Ru Ling dan Szu Kung Tseng. Pore Structure and Adsorption Performance of the KOH - Activated Carbons Prepared from Corncob. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, 287: 428-437
- Ugheoke, Iyenagbe B., dan Othman Mamat. A Critical Assessment and New Research Directions of Rice Husk Silica Processing Methods and Properties. *Maejo International of Journal Science and Technology*, 2012, 6(3): 430-448.
- Wang, Qing; Hong Li; Liqun Chen; dan Xuejie Huang. Monodispersed Hard Carbon Spherules with Uniform Nanopores. *Carbon*, 2001, 39: 2211-2214.