





ditentukan, yaitu: setiap 100 mL aqua DM, akan direaksikan dengan 20 gram karbon dan 30 gram aktivator. Aktivasi kimia dilakukan dengan dua tahap, yaitu pada tahap pertama masukkan air suling dan aktivator ke dalam gelas *beaker* dan dipanaskan selama 1 jam. Tahap kedua campurkan serbuk karbon kedalam larutan tersebut selama 2 jam. Sehingga waktu total yang dibutuhkan untuk melakukan aktivasi kimia adalah 3 jam. Larutan campuran aktivator dan serbuk karbon kemudian dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* dengan suhu  $80^{\circ}$  C dan diaduk secara otomatis dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam. Setelah aktivasi kimia selesai, kemudian dilakukan pengendapan dan pencucian. Pengendapan dilakukan dengan mendinginkan sampel selama satu hari hingga terbentuk endapan pada dasar gelas *beaker*. Sehingga cairan yang ada pada sampel, dibuang hingga tersisa endapannya saja. Endapan yang diperoleh kemudian dicuci dengan memberikan aqua DM secara berulang kali hingga mencapai pH netral. Setelah penetralisasian selesai dilakukan, maka sampel di keringkan dengan menggunakan oven. Setelah kering, maka sampel kembali berbentuk serbuk karbon. Serbuk karbon ini yang siap digunakan untuk pembuatan elektroda superkapasitor dan karakterisasi.

## **b. Karakterisasi Sifat Fisis Karbon Aktif**

Karakterisasi sifat fisis bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan menentukan besarnya luas permukaan dari karbon tempurung kelapa yang sudah diberikan perlakuan aktivasi kimia.

### **1. Scanning Electron Microscopy**

Karakterisasi *scanning electron microscope* dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan pada karbon tempurung

kelapa dengan melihat distribusi porinya. Pengujian dilakukan menggunakan alat Hitachi S-3400N dengan empat perbesaran, yaitu: 500X, 1000X, 5000X dan 10.000X.

## **2. Brunauer Emmet Teller**

Karakterisasi *brunauer emmet teller* dilakukan dengan metode uji serapan gas  $N_2$  pada suhu 77K. Dilakukannya karakterisasi *brunauer emmet teller*, maka akan dapat diketahui besarnya luas permukaan karbon tempurung kelapa. Grafik yang dihasilkan menyatakan banyaknya volume gas yang diserap terhadap tekanan relatif ( $P/P_0$ ).

## **c. Karakterisasi Sifat Elektrokimia dengan Metode Cyclic Voltammetry**

*Cyclic Voltammetry* (CV) merupakan karakterisasi elektrokimia yang dilakukan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor elektrokimia. Pengukuran *cyclic voltammetry* dilakukan dengan menggunakan suatu alat pengukuran elektrokimia, yaitu solartron interface 1286 dengan sistem dua elektroda dalam larutan  $H_2SO_4$  sebagai elektrolit.

Karakterisasi CV pada sel superkapasitor diukur dengan potensial antara 0-0,5 mV terhadap elektroda dengan laju *scan* 1 mV/s yang dikontrol dengan software *corrware* untuk mendapatkan data pengukuran dan kemudian diolah kembali menggunakan *sigma plot* 8,0 untuk mendapatkan kurva hubungan antara arus dan tegangan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

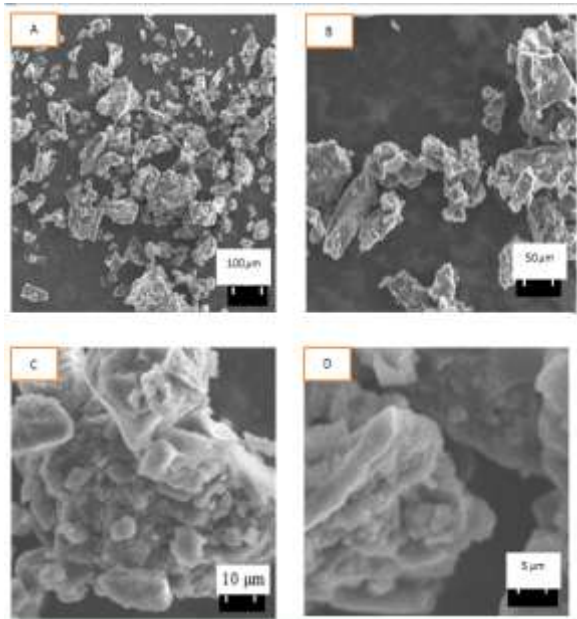
### **1. Karakterisasi Sifat Fisis Karbon Aktif**

#### **a. Scanning Electron Microscope**

Bentuk morfologi dari karbon tempurung kelapa pada variasi A dengan perbesaran 500X, 1000X, 5000X dan 10.000X ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan hasil SEM dari permukaan serbuk arang tempurung kelapa pada variasi A.

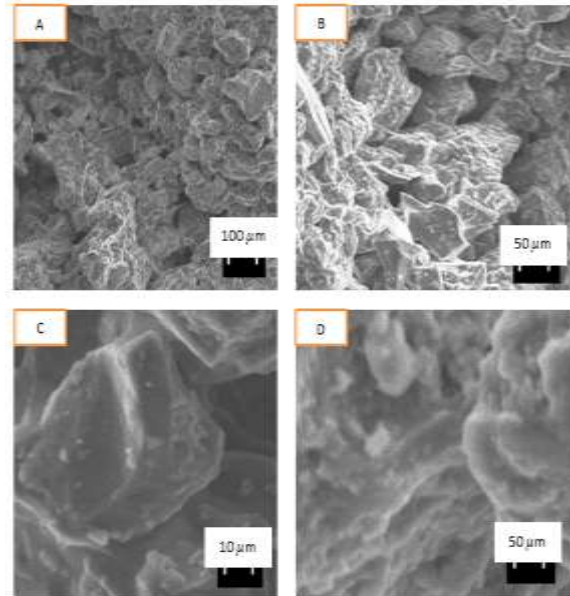
Gambar 1A terlihat jelas bahwa distribusi partikel tidak merata, rongga terlihat tidak sama dan dapat dikelompokkan dalam ukuran meso. Bagian morfologi permukaan karbon banyak ditemukan warna putih. Warna putih tersebut menunjukkan karena keberadaan ZnO.



Gambar 1. Hasil SEM karbon aktif serbuk tempurung kelapa pada variasi A (A) Perbesaran 500 X (B) Perbesaran 1000X (C) perbesaran 5000X (D) perbesaran 10000X.

Disebabkan karena aktivator yang digunakan pada variasi A adalah  $ZnCl_2$  berwarna putih, sehingga warna putih lebih dominan terlihat pada morfologi permukaan karbon tempurung kelapa.

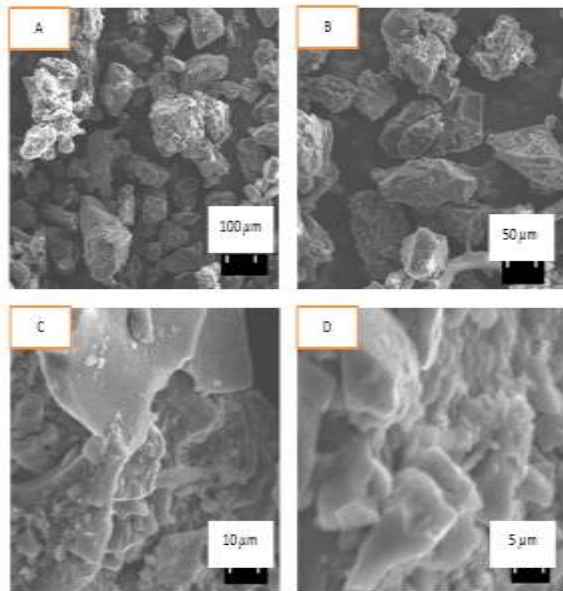
Gambar 1C dan D didapati juga bahwa jumlah rongga tertutup semakin jelas terlihat dibandingkan dengan gambar A.



Gambar 2. Hasil SEM karbon aktif serbuk tempurung kelapa pada variasi B (A) Perbesaran 500 X (B) Perbesaran 1000 X (C) Perbesaran 5000 X (D) Perbesaran 10000 X.

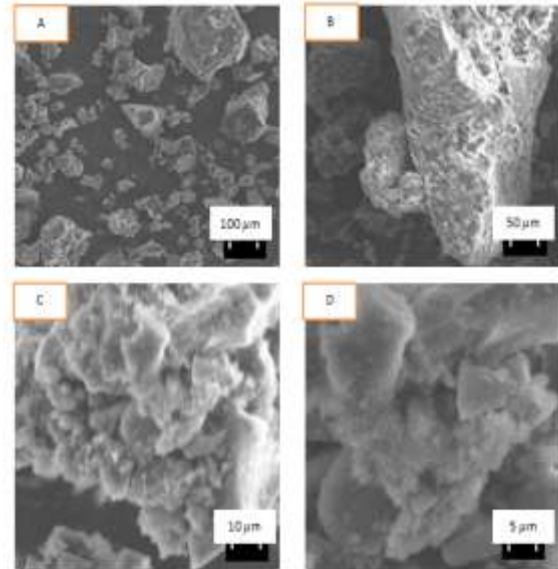
Gambar 2 memperlihatkan hasil SEM dari permukaan serbuk arang tempurung kelapa pada variasi B. Gambar 2A terlihat jelas bahwa distribusi partikel sudah agak merata dan beraturan. Dibeberapa bagian terlihat ada sebagian rongga yang terbuka. Gambar 2B jelas menunjukkan bahwa kerapatan pori yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan Gambar 2A. Gambar diatas juga memperlihatkan bahwa karbon hitam sudah mulai mengisi seluruh rongga dari karbon tempurung kelapa. Ukuran tekstur (butiran) dapat menentukan kepadatan dari suatu benda, semakin kecil ukuran butiran tersebut maka semakin padat benda tersebut dan semakin besar ukuran butiran maka semakin kurang padat ukuran butiran dan porositas semakin besar. Dikarenakan butiran karbon tempurung kelapa lebih besar dibandingkan dengan ukuran butiran karbon hitam, sehingga jika dicampur maka serbuk karbon hitam yang ukuran butirannya lebih kecil

dibanding dengan karbon tempurung kelapa maka kepadatan ukuran butiran makin kecil dan porositas akan semakin kecil pula.



Gambar 3. Hasil SEM karbon aktif serbuk tempurung kelapa pada variasi C (A) Perbesaran 500 X (B) Perbesaran 1000 X (C) Perbesaran 5000 X (D) Perbesaran 10000 X.

Gambar 3 memperlihatkan hasil SEM dari permukaan serbuk arang tempurung kelapa pada variasi C. Gambar 3B menunjukkan bahwa kerapatan pori yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan Gambar 3A. Perbedaan kerapatan pori disebabkan karena adanya pencampuran aktivator KOH dalam sampel  $ZnCl_2$  pada saat dilakukan aktivasi kimia. Susunan partikel seperti yang terlihat pada gambar B adalah menggumpal dan tidak teratur. Gambar C dan D tampak ada seperti patahan-patahan yang menempel pada pori karbon tempurung kelapa.

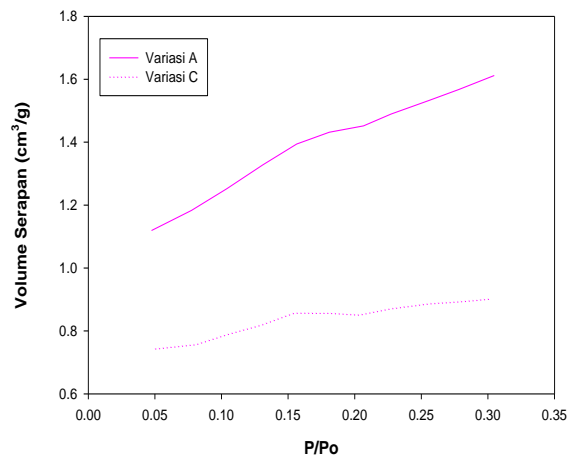


Gambar 4. Hasil SEM karbon aktif serbuk tempurung kelapa pada variasi D (A) Perbesaran 500 X (B) Perbesaran 1000 X (C) Perbesaran 5000 X (D) Perbesaran 10000 X.

Gambar 4 memperlihatkan hasil SEM dari permukaan serbuk arang tempurung kelapa pada variasi D. Gambar B,C dan D jelas terlihat bahwa ada warna putih yang menempel pada partikel. Hal ini dikarenakan karena adanya kandungan  $ZnO$ , dimana  $ZnO$  berasal dari penambahan aktivator  $ZnCl_2$  didalam sampel KOH pada saat aktivasi kimia. Seperti yang telah diketahui sebelumnya bahwa warna  $ZnO$  adalah warna putih. Struktu pori yang tampak pada gambar A dan B adalah acak dan menggumpal.

#### b. Analisis Serapan Gas $N_2$

Grafik penyerapan gas  $N_2$  untuk variasi A dan C dapat dilihat pada Gambar 5. Grafik tersebut menyatakan banyaknya gas dapat diserap oleh karbon tempurung kelapa terhadap tekanan relatif.



Gambar 5. Grafik analisa serapan gas N<sub>2</sub> sampel karbon tempurung kelapa pada variasi A dan variasi C dengan perbandingan 1:1,5.

Volume maksimum gas N<sub>2</sub> yang diserap oleh karbon tempurung kelapa pada variasi A adalah sebesar 1,6118 cm<sup>3</sup>/g pada saat tekanan relatif sebesar 0,304772 dan memiliki luas permukaan sebesar 4,964 m<sup>2</sup>/g. Sedangkan volume maksimum gas N<sub>2</sub> untuk sampel yang diserap oleh arang tempurung variasi C adalah sebesar 0,9033 cm<sup>3</sup>/g pada saat tekanan relatif sebesar 0,302064 dan memiliki luas permukaan sebesar 2,746 m<sup>2</sup>/g. Perlakuan aktivasi secara bertingkat pada variasi C tidak memberikan pengaruh kepada sampel karbon sehingga kenaikan luas permukaan pada variasi C tidak terjadi. Data luas permukaan karbon kelapa pada variasi A dan variasi C secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 1.

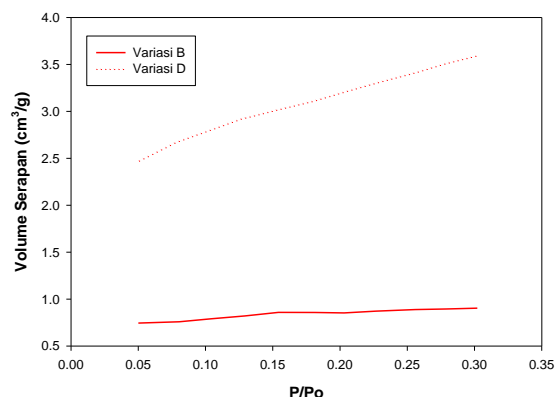
Berdasarkan Gambar 5 hubungan antara volume serapan terhadap tekanan relatif dari gas N<sub>2</sub> menyatakan bahwa kurva cenderung mengikuti adsorpsi isotherm tipe II menurut klasifikasi IUPAC, dimana adsorpsi tipe II memperlihatkan adsorpsi fisik gas dari padatan non-pori.

Gambar 5 menunjukkan bahwa jumlah volume gas N<sub>2</sub> yang diserap untuk

variasi A lebih besar daripada volume yang diserap untuk variasi C. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa pada tekanan yang relatif rendah (0,002) serapan yang terjadi adalah kecil. Dengan bertambahnya tekanan diamati jumlah volume gas yang terserap juga meningkat. Pada tekanan diatas 0,002 ditunjukkan bahwa volume gas yang terserap tidak mengalami peningkatan walaupun tekanan terus meningkat.

Hasil serapan gas N<sub>2</sub> variasi A yang relatif lebih besar dari variasi C disebabkan oleh pori-pori mikro yang dihasilkan oleh variasi A berubah menjadi pori-pori meso ataupun pori makro. Sehingga hasil akhir luas permukaan pada variasi C cenderung menghasilkan lebih kecil dibandingkan luas permukaan variasi A. Aktivasi yang menggunakan aktivator KOH akan menghasilkan mikropori. Sedangkan aktivasi yang menggunakan aktivator ZnCl<sub>2</sub> akan menghasilkan mesopori, dimana ukuran pori mesopori lebih besar dibanding mikropori (Zhang dan Zhao, 2009).

Grafik penyerapan gas N<sub>2</sub> untuk variasi B dan D dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik tersebut menyatakan banyaknya gas yang dapat diserap oleh karbon tempurung kelapa berbanding dengan tekanan relatif.



Gambar 6. Grafik analisis serapan gas N<sub>2</sub> sampel karbon tempurung kelapa pada variasi B dan variasi D dengan perbandingan 1:1,5.

Berdasarkan Gambar 6 hubungan antara volume serapan terhadap tekanan relatif dari gas N<sub>2</sub> menyatakan bahwa kurva cenderung mengikuti adsorpsi isotherm tipe I menurut klasifikasi IUPAC, dimana adsorpsi tipe I memperlihatkan jenis adsorben dengan struktur yang sebagian besar mikropori, karena mayoritas dari pengisian mikropori akan terjadi pada tekanan relatif yang sangat rendah (di bawah 0,1). Adsorpsi berlangsung pada tekanan relatif yang sangat rendah karena interaksi kuat antara dinding pori dan adsorbet (bahan terserap).

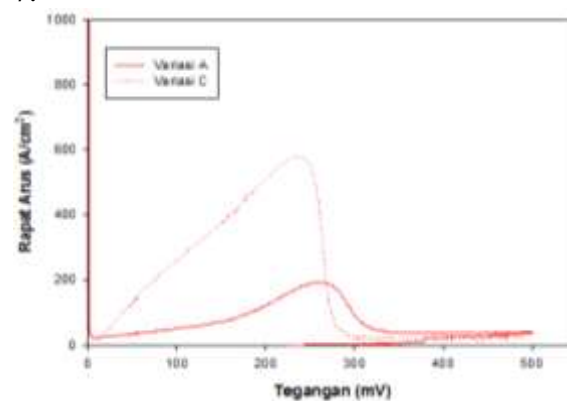
Volume maksimal gas N<sub>2</sub> yang diserap oleh karbon tempurung kelapa pada variasi B adalah sebesar 3,6010 cm<sup>3</sup>/g pada saat tekanan relatif sebesar 0,303070 dan memiliki luas permukaan sebesar 7,958 m<sup>2</sup>/g. Sedangkan volume maksimal gas N<sub>2</sub> untuk sampel yang diserap oleh arang tempurung kelapa pada variasi D adalah sebesar 3,6010 cm<sup>3</sup>/g pada saat tekanan relatif sebesar 0,302877 dan memiliki luas permukaan sebesar 11,103 m<sup>2</sup>/g. Dilakukannya aktivasi secara bertingkat aktivator KOH pada sampel karbon tempurung kelapa sehingga mengakibatkan terjadinya kenaikan luas permukaan pada variasi D. Data luas permukaan karbon tempurung kelapa menggunakan aktivator KOH dan aktivator KOH secara bertingkat dapat dilihat pada lampiran 1.

Semakin besar luas permukaan dari suatu pori maka akan menyebabkan adsorpsi gas N<sub>2</sub> juga akan semakin meningkat, dimana peningkatan luas permukaan yang besar disebabkan karena terjadinya pembukaan pori pada karbon tempurung kelapa yang awalnya tertutupi oleh pengotor. Kemudian dengan adanya gas N<sub>2</sub> maka kotoran tersebut akan terdorong keluar, hal ini disebabkan oleh jumlah pori elektrodanya semakin banyak sehingga menyebabkan diameter pori semakin kecil

atau biasa disebut mikropori (Zhao et al, 2007).

## 2. Hasil Pengukuran Sifat Elektrokimia Sel Superkapasitor Menggunakan Metode *Cyclic Voltammetry*

Penelitian juga dilakukan pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*. *Cyclic Voltammetry* digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi spesifik dari suatu elektroda karbon menggunakan tegangan 0 – 0,5 mV. Kurva CV menunjukkan hubungan perubahan rapat arus terhadap tegangan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon seperti pada Gambar 7.



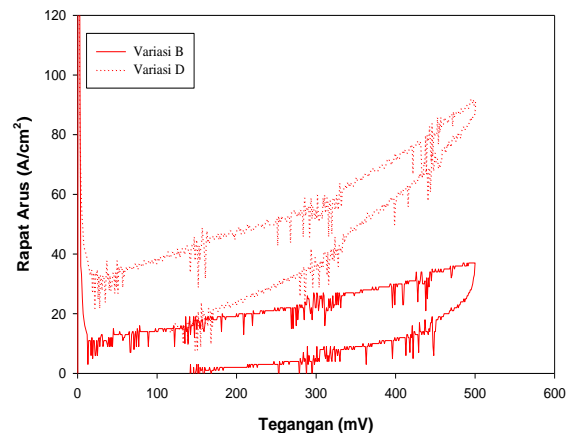
Gambar 7. Kurva *Cyclic Voltammetry* sel superkapasitor variasi A dan variasi C pada laju scan 1 mV/s.

Gambar 7 jelas terlihat bahwa bentuk kurva sampel A dipertengahan pada saat pengisian arus (*charge*) adanya seperti pembengkakan, sedangkan pada saat pengosongan arus (*discharge*) cenderung konstan berupa garis lurus (*linear*). Perbedaan arus *charge* (*I<sub>c</sub>*) dan *discharge* (*I<sub>d</sub>*) pada saat pengukuran dapat dilihat pada Gambar 7 yang mempengaruhi bentuk grafik untuk kedua sampel berdasarkan metode pengukuran CV. Luas daerah yang dibentuk antara arus *I<sub>c</sub>* dan *I<sub>d</sub>* pada grafik mengindikasikan pada besarnya nilai

kapasitansi spesifik, dimana berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa luas daerah yang terbentuk antara arus  $I_c$  dan  $I_d$  untuk elektroda karbon variasi C lebih luas dibandingkan elektroda karbon variasi A. Sesuai dengan kapasitansi yang diperoleh, yaitu nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda karbon variasi C lebih tinggi dibandingkan elektroda karbon variasi A. Besarnya nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7, dimana besar arus yang dihasilkan pada kurva CV dapat ditentukan dengan menentukan titik tengah dari nilai potensial maksimum (1V), maka didapatkan nilai titik tengah dari 1V, yaitu sebesar 0,5 V.

Perbedaan nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda disebabkan oleh ion-ion tidak menyebar ke pori-pori secara merata ke elektroda karbon sehingga menyebabkan difusi ion hanya terjadi dipermukaan elektroda sehingga nilai kapasitansi spesifiknya rendah. Sedangkan untuk kapasitansi spesifik yang besar ion dapat berdifusi kedalam pori-pori elektroda karbon dengan mudah sehingga nilai kapasitansi spesifiknya tinggi. Ditambah lagi dengan adanya peningkatan  $I_c$  ke arah positif dalam grafik voltammogram juga disertai dengan peningkatan  $I_d$  ke arah negatif. Perubahan  $I_c$  dan  $I_d$  inilah yang menyebabkan peningkatan sifat kapasitif sel superkapasitor (Taer, dkk., 2010).

Pengaruh logam oksida ZnO pada permukaan elektroda karbon menyebabkan terjadinya reaksi reduksi-oksidasi (redoks), lapisan logam yang terbentuk karena adanya proses elektrolisa, proses yang terjadi mampu meningkatkan luas permukaan logam sehingga daya absorpsi semakin tinggi dan menyebabkan kapasitansi dari elektroda karbon semakin besar.



Gambar 8. Kurva *Cyclic Voltammetry* sel superkapasitor pada variasi B dan variasi D laju scan 1 mV/s.

Gambar 8 dua variasi elektroda karbon tersebut memiliki bentuk kurva yang hampir sama, dimana kurva variasi B lebih tinggi dibandingkan dengan kurva B. Bentuk kurva sampel B cenderung konstan pada saat  $I_c$  dan  $I_d$ , sedangkan kurva sampel D ketika dipertengahan pada saat pengisian arus (*charge*) tampak adanya sedikit patahan. Disebabkan karena adanya perbedaan perlakuan, dimana pada sampel D menggunakan aktivator yang diaktivasi secara bertingkat. Lebar ujung kurva B ketika menuju saat pengosongan arus (*discharge*) lebih lebar dibandingkan kurva B. Sampel B memiliki kapasitansi spesifik sebesar 0,2117 F/g, sedangkan sampel D memiliki spesifik kapasitansi yang cenderung lebih besar dibanding sampel B, yaitu 0,314 F/g.

Peningkatan nilai kapasitansi spesifik dengan aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH disebabkan oleh perubahan bentuk permukaan karbon. Perubahan bentuk permukaan karbon berpengaruh pada jumlah ion yang dapat meresap kedalam pori-pori meso dan pori mikro karbon (Inagaki et al, 2010).

Perbedaan lain yang dapat diamati untuk kurva adalah kecondongan kurva CV



yang dihasilkan, yaitu kurva D mempunyai kecondongan relatif lebih tinggi dari variasi B. Kemiringan kurva ini disebabkan oleh sifat porositas bahan yang berhubungan dengan tahanan elektroda. Elektroda dengan luas permukaan lebih tinggi akan memiliki sifat tahanan yang lebih tinggi pula.

## KESIMPULAN

Hasil SEM menunjukkan sampel A dan C pada morfologi permukaan karbon ada warna putih yang berasal dari ZnO dan tersebar secara acak. Morfologi permukaan pada sampel B seperti bongkahan, sedangkan pada sampel D jarak antar partikelnya lebih besar.

Sedangkan pada hasil luas permukaan karbon menggunakan metode serapan gas N<sub>2</sub> yang tertinggi diperoleh oleh variasi D sebesar 11,103 m<sup>2</sup>/g dan hasil luas permukaan yang terendah diperoleh oleh variasi C, yaitu sebesar 2,746 m<sup>2</sup>/g. Kapasitansi spesifik tertinggi yang diperoleh dari pengukuran CV dimiliki oleh elektroda variasi C dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 7,52 F/g. Sedangkan untuk nilai kapasitansi spesifik terendah dimiliki oleh elektroda variasi B dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 0,2117 F/g. Hal ini membuktikan bahwasanya dengan dilakukannya aktivasi bertingkat terbukti dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada karbon tempurung kelapa.

Peningkatan nilai kapasitansi spesifik dengan aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH disebabkan oleh perubahan bentuk permukaan karbon. Perubahan bentuk permukaan karbon berpengaruh pada jumlah ion yang dapat meresap kedalam pori-pori meso dan pori mikro karbon (Inagaki et al, 2010).

Perbedaan lain yang dapat diamati untuk kurva adalah kecondongan kurva CV yang dihasilkan, yaitu kurva D mempunyai kecondongan relatif lebih tinggi dari variasi

B. Kemiringan kurva ini disebabkan oleh sifat porositas bahan yang berhubungan dengan tahanan elektroda. Elektroda dengan luas permukaan lebih tinggi akan memiliki sifat tahanan yang lebih tinggi pula.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek Dikti untuk Hibah Kompetensi yang berjudul “Nano Karbon Berbasis Limbah Biomassa sebagai Inti Elektroda Campuran untuk Superkapasitor “Tahun 2015 atas pendanaan yang diberikan melalui Dr. Erman Taer, M.Si.

## DAFTAR PUSTAKA

- Inagaki, M., Konno, H. & Tanaike. O. 2010. Carbon materials for electrochemical capacitors. *Journal of Power Source* 195:7880-7903
- Jin, H., Wang, X., Gu, Z., Polin, J., 2013. Carbon materials from high ash biochar for supercapacitor and improvement of capacitance with HNO<sub>3</sub> surface oxidation. *Journal of Power Sources*: 285-292
- Namisnyk, A. M. 2003. A Survey of Electrochemical Supercapacitor Technology. Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney.
- Ruiz,V ., Blanco,C., Granda,M., Menender,R., and Santamaria,R (2007). Influence of electrode preparation on the electrochemical behaviour of carbon-based supercapacitors. *J Appl Electrochem.*37:717-712



- Subadra, I. Setiaji, B. dan Tahir, I. 2005. Activated Carbon Production From Coconut Shell With  $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$  Activator As An Adsorbent In Virgin Coconut Oil Purification. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Taer, E., Deraman, M., Talib, A. I., Umar, A. A., Oyama, M., Yunus, M. R. 2010. Preparation of highly porous carbon pellet from rubber wood saw dust via optimization of carbonization temperature for supercapacitor application, submitted paper to, Materials chemistry and physics
- Zhang, L. L., and Zhao, S. X., 2009. Carbon Based Material as Supercapacitor Electrodes. Chemical Society reviews, 2520-2531
- Zhao, J., Lai, C., Yang Dai, Jingjing Xie (2007). "Pore structure control of mesoporous carbon as supercapacitor material." Materials Letters 61 (23-24): 4639-4642

