

Pengaruh Ketebalan Elektroda Terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik dan "Retained Ratio" Serbuk Gergaji Kayu Karet untuk Pembuatan Superkapasitor

Yanuar, Iwantono, Erman Taer, Risa Andriani
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

Email : yanuar_unri@hotmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai efek ketebalan dan "retained ratio" pada elektroda karbon dari serbuk gergaji kayu karet. Elektroda karet dibuat dalam bentuk pelet melalui proses karbonisasi dan aktivasi fisika dengan gas CO₂ pada temperatur konstan yaitu 800°C, dimana sampel dari serbuk gergaji dilakukan dengan proses awal yaitu pra-karbonisasi pada temperatur 280°C. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh pengukuran sifat fisik dan sifat elektrokimia. [i] pengukuran sifat fisik, meliputi: pengukuran persentase susut massa dari sampel pada tahap pra-karbonisasi yaitu sebesar 26,63%, densitas rata-rata pada proses karbonisasi dan aktivasi yaitu sebesar: 0,71 gr/cm³ dan 0,68 gr/cm³ dan luas permukaan BET yaitu sebesar: 390,79 cm²/gr. [ii] pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metoda voltamogram siklis (CV), meliputi: pengukuran nilai kapasitansi spesifik tertinggi yaitu: 111,39 F/gr pada ketebalan 0,6 mm dan pengukuran nilai "retained ratio" tertinggi yaitu: 25,22% pada ketebalan 0,4 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa serbuk gergaji kayu karet (SGKK) merupakan bahan yang memiliki potensi untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan superkapasitor.

Kata kunci : Serbuk gergaji kayu karet (SGKK), karbon aktif, Luas permukaan (BET), Kapasitansi spesifik dan Superkapasitor

PENDAHULUAN

Teknologi penyimpan energi listrik antara lain dapat dilakukan oleh: kapasitor, baterai, fuel cell dan superkapasitor. Dalam proses penyimpanan energi dan daya, masing-masing penyimpanan tersebut memiliki perbedaan, dimana baterai memiliki kemampuan untuk menyimpan energi tinggi namun dayanya cukup kecil; fuel cell mampu menyimpan energi tinggi dari baterai namun dayanya kecil dari baterai; kapasitor memiliki energi yang sangat kecil namun dayanya sangat besar; superkapasitor memiliki energi besar dan daya yang tinggi (Arepalli et al., 2005). Berdasarkan perbedaan tersebut, dalam beberapa tahun terakhir yang menjadi kajian beberapa ahli adalah superkapasitor karena kemampuannya dalam menyimpan energi dan daya sangat besar (Namisnyk, 2003). Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu me-recharge yang pendek serta aman dalam penggunaannya (Kötz et al. 2002; Jayalakshmi et al., 2008).

Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pemisah (separator) dan pengumpul arus. Bahan dasar utama yang digunakan sebagai elektroda karbon adalah material organik dengan kandungan karbon yang tinggi. Bahan yang memiliki kandungan karbon yang tinggi antara lain terdapat pada: kayu, bambu dan tempurung kelapa. Pada penelitian ini, bahan pembuatan elektroda karbon yang digunakan adalah serbuk gergaji kayu karet.

Material elektroda karbon merupakan salah satu teknologi yang penting karena kemampuannya untuk bereaksi dengan gas dan cairan tidak hanya pada bagian permukaan saja tetapi pada seluruh bagian dari elektroda karbon tersebut (Handoko et al, 2008). Elektroda karbon memiliki bentuk pori yang berbeda-beda, dimana bentuk pori tersebut ada tiga macam, yaitu: pori yang berukuran di bawah 2 nm disebut dengan mikropori, pori berukuran 2 nm-50 nm yang disebut dengan mesopori dan pori yang berukuran diatas 50 nm disebut struktur struktur makropori (Inagaki, 2009).

Bentuk pori pada elektroda karbon sangat mempengaruhi proses difusi ion, dimana difusi merupakan proses penyerapan ion atau molekul dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah. Pada struktur mikropori, diameter antar pori sangat kecil sehingga terjadi gaya tarik menarik antara dinding pembentuk pori tersebut. Gaya tarik-menarik ini akan menimbulkan energi potensial sehingga menghasilkan penyerapan yang kuat. Pada umumnya, struktur mikropori dapat menentukan besarnya daya serap ion atau molekul pada permukaan elektroda karbon. Semakin banyak struktur mikropori, maka penyerapan pada elektroda karbon tersebut semakin baik. Struktur mesopori berfungsi sebagai terowongan utama dalam penyerapan ion atau molekul dan pada struktur makropori terjadi difusi molekul ke dalam partikel pori (Gorka, J. et al, 2008).

Perbedaan ketebalan elektroda karbon menjadi faktor penentu agar ion dapat berdifusi melalui



lubang-lubang pori, apabila ketebalan elektroda karbon semakin tipis, maka akan semakin memudahkan ion-ion untuk berdifusi. Variasi ketebalan pada elektroda karbon akan mempengaruhi nilai dari kapasitansi spesifik elektroda karbon dan nilai retained ratio. Retained ratio merupakan perbandingan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon pada laju scan tertentu terhadap nilai laju scan awal. Untuk semua sampel, nilai retained ratio akan menurun seiring dengan meningkatnya arus pada elektroda karbon (Burke, 2000).

Pada penelitian ini, pembuatan elektroda karbon dari serbuk gergaji kayu karet dapat dilakukan dengan proses karbonisasi dan dilanjutkan dengan proses aktivasi fisika menggunakan gas CO₂ pada temperatur 800°C. Setelah terbentuk elektroda karbon maka nilai kapasitansi spesifik dapat diukur menggunakan voltammogram siklis (CV). Pengukuran nilai kapasitansi spesifik ini bergantung pada luas permukaan dari karbon. Berdasarkan teori, semakin luas permukaan pori maka nilai kapasitansi spesifiknya akan semakin tinggi (Xing et al., 2006).

METODOLOGI

Tahap awal yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah pemilihan batang kayu karet (*Havea brassiliensi muel arg*), dimana kayu yang akan digunakan adalah kayu yang sudah tidak produktif lagi. Pemilihan kayu karet merupakan salah satu faktor penentu agar diperolehnya pelet atau elektroda karbon yang baik (Srinivasakannan et al., 2004). Pengolahan kayu karet dilakukan dengan menggunakan alat pemotong kayu untuk memperoleh serbuk gergaji kayu karet (SGKK). Kayu yang sudah menjadi serbuk dijemur agar tidak mengandung air lagi. Penjemuran ini dilakukan terus-menerus hingga massa dari serbuk tersebut menjadi konstan. Tahap pra-karbonisasi merupakan suatu tahap dimana serbuk gergaji dipanaskan pada temperatur 280°C selama ± 4 jam dalam keadaan vakum. Disini dapat dilihat perubahan dari fisik serbuk yang telah dipanaskan dengan sebelum dipanaskan. Pada temperatur (200-280)°C serbuk kayu secara perlahan akan menjadi karbon dan warna karbon tersebut akan menjadi coklat gelap serta mengandung $\pm 70\%$ karbon swa-merekat. Proses pra-karbonisasi dilakukan dengan menggunakan furnace. Penggilingan dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus dan diperoleh ukuran yang lebih kecil. Proses penghalusan serbuk dapat dilakukan dengan menggunakan ball milling, dimana waktu yang dibutuhkan pada proses ini adalah sekitar 36 jam dengan waktu istirahat sekali 1 jam.

Tahap selanjutnya yaitu proses pengayakan dengan menggunakan ayakan yang berukuran 53 μm agar diperoleh butiran serbuk $\leq 53 \mu\text{m}$. Proses ini dilakukan agar diperoleh serbuk halus yang dapat

digunakan untuk pembuatan pelet. Ukuran berat serbuk yang ideal untuk dijadikan pelet adalah 0,65 gr sehingga pelet yang diinginkan tidak terlalu pipih dan tidak pula terlalu tebal. Langkah selanjutnya adalah mencetak serbuk menjadi bentuk kepingan lingkaran dengan menggunakan Hydraulic Press. dengan memberikan tekanan seberat 8 Ton untuk memampatkan serbuk di dalam cetakan agar menjadi padat. Setelah itu dilakukan tahap karbonisasi yang merupakan suatu proses pemanasan bahan baku tanpa adanya udara (keadaan vakum) pada temperatur yang tinggi. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 800°C dengan menggunakan gas N₂. Tujuan dari proses karbonisasi ini dilakukan adalah untuk menyingkirkan bahan yang bukan karbon serta menghindari pelet terurai menjadi abu, dimana proses ini dilakukan selama 8-9 jam. Setelah proses karbonisasi, selanjutnya dilakukan proses aktivasi fisika dengan menggunakan gas CO₂ dengan temperatur 800°C selama 1 jam yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan memperbesar diameter pori (Guo et al., 2003).

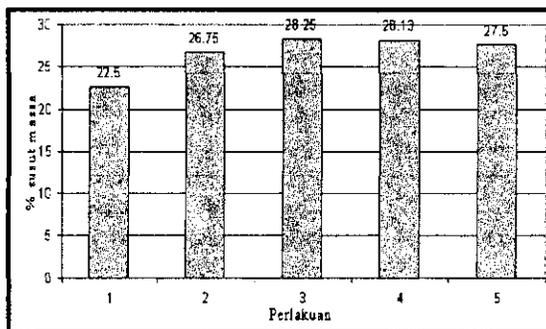
Dalam kajian ini, sampel yang telah dikarbonisasi dimasukkan ke dalam furnace dan gas CO₂ dialirkan masuk ke dalam furnace. Proses ini diawali pada temperatur bilik hingga mencapai temperatur 800°C dan ditahan selama 1 jam (Park et al., 2004). Proses pengeluaran sampel sama halnya dengan karbonisasi, dimana sampel dapat dikeluarkan jika temperaturnya sudah kembali menjadi temperatur kamar. Pemolesan dilakukan apabila proses aktivasi selesai dengan menggunakan kertas pasir Kovex P1200 dan cetakan untuk pengaturan ketebalan pelet yang berbentuk balok padat yang ditengahnya dibuat lubang dengan diameter sesuai dengan diameter pelet dan ke dalamannya sesuai dengan ketebalan pelet yang diinginkan. Pelet dipoleskan secara pelan-pelan dengan kertas pasir sampai permukaan pelet tersebut sama rata dengan permukaan balok cetakan. Ukuran ketebalan pelet dalam penelitian ini adalah 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.6mm, 0.75mm dan 1.0mm.

Kemudian dilakukan tahap pencucian dimana, tujuan dari pencucian dengan air suling ini adalah untuk mendapatkan pH 7 atau keadaan yang netral dari pelet tersebut. Pencucian disini dilakukan dengan cara merendam pelet di dalam gelas vial dengan air suling hingga mencapai keadaan netral. Tahap selanjutnya dilakukan pengeringan selama 24 jam dalam furnace (oven) yang bertemperatur 110°C untuk mendapatkan elektroda yang kuat. Selanjutnya elektroda karbon dianalisis untuk pengukuran kapasitansi dengan menggunakan metoda voltammogram siklis Solatron Interface 1286 dengan menggunakan tiga elektroda yaitu: elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda counter dengan larutan elektrolit asam sulfat 1M. Voltammogram siklis diukur mulai dari potensial 0

hingga 1.0 V terhadap elektroda referensi dengan variasi laju scan (1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 dan 80) mV/s yang dikontrol menggunakan Corrware.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter yang mempengaruhi tentang pengaruh ketebalan elektroda karbon dari serbuk gergaji kayu karet untuk aplikasi pembuatan superkapasitor antara lain: (1) pengukuran sifat fisik, meliputi: pengukuran densitas pada saat sebelum karbonisasi, setelah karbonisasi dan setelah aktivasi serta pengukuran serapan adsorpsi/desorpsi gas N_2 . (2) pengukuran sifat elektrokimia, meliputi: pengukuran kapasitansi spesifik dan "retained ratio". Berdasarkan gambar 4.1, dapat diketahui bahwa dengan melakukan proses pra-karbonisasi pada temperatur optimum $280^{\circ}C$ dalam keadaan vakum, serbuk gergaji kayu karet mengalami perubahan warna menjadi warna coklat tua. Serbuk gergaji kayu karet akan mengeluarkan kotoran berupa kerak yang menempel pada bahagian furnace serta sampel tersebut juga mengeluarkan bau. Proses pra-karbonisasi dilakukan sebanyak 5 kali, dimana setiap dilakukan proses pra-karbonisasi maka sampel akan mengalami susut massa sebesar rata-rata $\pm 26,63\%$. Sampel yang dihasilkan sudah memiliki sifat swamerekat, hal ini ditandai dengan sifat serbuk berubah menjadi rapuh dan mudah untuk dihaluskan.

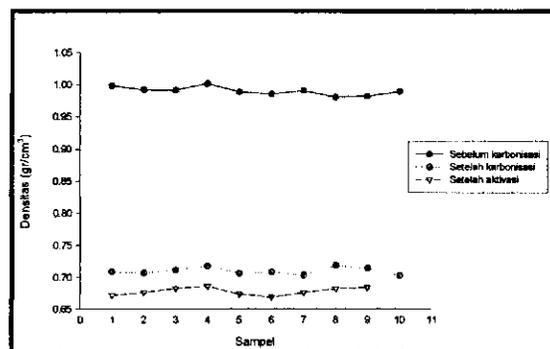


Gambar 4.1. Persentase susut massa sampel

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Deraman et al, 1998 bahwa apabila susut massa dari serbuk berkisar 20-40 % setelah proses pra-karbonisasi maka serbuk tersebut telah memiliki sifat swa-merekat (tanpa diberi perekat) dan warna dari serbuk pun akan mengalami perubahan menjadi lebih gelap.

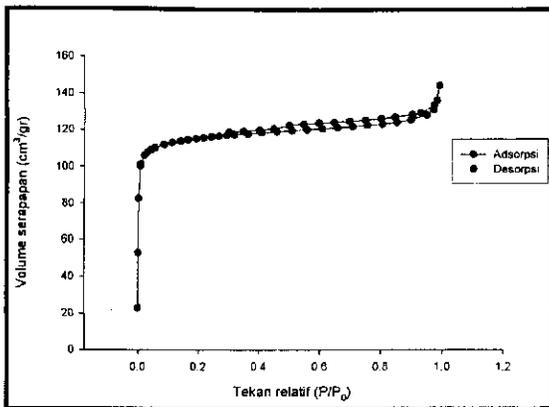
Perbandingan pengukuran densitas pelet karbon dari serbuk gergaji kayu karet hasil penelitian yang telah dilakukan terlihat pada gambar 4.2, bahwa nilai densitas rata-rata pelet untuk berbagai karakterisasi sebelum karbonisasi, setelah karbonisasi dan setelah aktivasi pada temperatur konstan ($800^{\circ}C$) adalah: $0,99 \text{ gr/cm}^3$; $0,71 \text{ gr/cm}^3$ dan $0,68 \text{ gr/cm}^3$. Perbandingan antara densitas sebelum karbonisasi dengan setelah karbonisasi

cenderung menurun drastis sebesar $\pm 28 \%$. Hal ini disebabkan bahwa pada saat dilakukan proses karbonisasi, bahan yang bukan karbon seperti oksigen dan hidrogen akan menguap dan didorong keluar sehingga menyebabkan massa, diameter dan tebal pelet semakin berkurang, data dapat dilihat pada lampiran pada tabel (4.2; 4.3; 4.4). Selanjutnya setelah dilakukan proses aktivasi dengan gas CO_2 , densitas pelet pun menurun tidak terlalu besar yaitu sekitar $\pm 2,8 \%$. Keadaan ini disebabkan karena komposisi dari pelet karbon sudah cukup baik sehingga pada proses aktivasi ini hanya terjadi perbaikan struktur pori, dimana zat pengotor yang ada pada permukaan pori akan menguap serta pori-pori karbon akan terbuka. Hal ini ditandai dengan struktur pelet menjadi semakin padat (Leofanti, Padovan et al. 1998).



Gambar 4.2. Grafik perbandingan densitas pelet berdasarkan perbedaan karakterisasi

Berdasarkan gambar 4.3., hubungan antara volume serapan terhadap tekanan relatif dari gas N_2 menyatakan bahwa kurva cenderung mengikuti adsorpsi isotherm tipe I menurut klasifikasi Brunauer, deming, Deming dan Teller (B.D.DT), dimana adsorpsi isotherm tipe I memperlihatkan adsorpsi satu lapisan (monolayer) maupun adsorpsi beberapa lapisan (multilayer) merupakan karakteristik material mikropori yang menunjukkan dataran tingginya hampir sama rata dengan penyerapan N_2 pada tekanan relatif (Leofanti, Padovan et al. 1998). Hasil juga menunjukkan bahwa sampel tidak banyak mengandung mesopori dan makropori. Berdasarkan hasil pengukuran adsorpsi dan desorpsi gas N_2 dapat ditentukan sifat fisis dari pelet karbon, dimana data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran tabel 4.5. Biasanya sifat fisis ini ditunjukkan berdasarkan bentuk parameter pori, diantaranya: luas permukaan spesifik dengan metoda BET (S_{BET}), luas permukaan mesopori (S_{meso}) dan volume mikropori (V_{mikro}) yang dapat dihitung dengan menggunakan metoda t-plot pada tekanan relatif (p/p_0), serta diameter pori rata-rata dapat diperoleh menggunakan metoda BJH (Barrett-Joiner-Halenda) dari titik akhir pada data desorpsi isotherm.

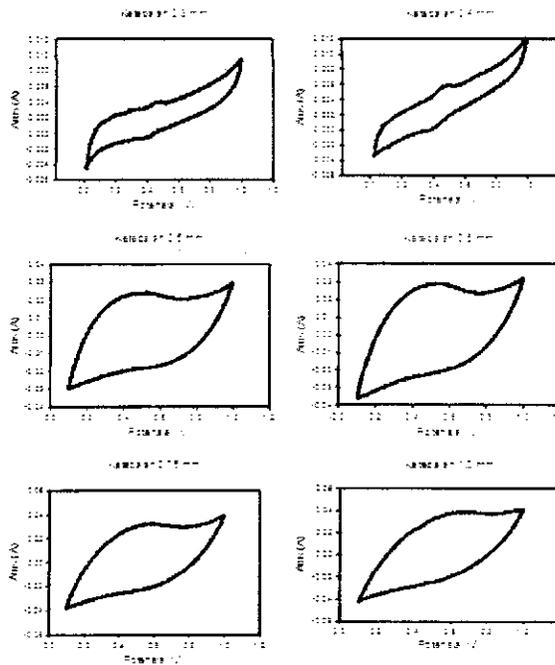


Gambar 4.3. Kurva hubungan volume serapan adsorpsi/desorpsi gas N₂ terhadap tekanan relatif

Terlihat dengan jelas pada gambar di atas bahwa volume serapan semakin meningkat terhadap tekanan relatif. Berdasarkan hasil pengukuran dengan N₂ dan aktivasi CO₂ pada temperatur 800°C diperoleh besarnya luas permukaan spesifik (S_{BET}) (390,79 cm²/gr), luas Volume mesopori (0,047 m³/gr), volume mikropori (0,168 cm³/gr) dan diameter rata-rata pori (2,210 nm). Semakin besar luas permukaan dari suatu pori maka akan menyebabkan adsorpsi dari gas N₂ juga akan semakin meningkat, dimana peningkatan luas permukaan yang besar disebabkan karena terjadinya pembukaan pori pada pelet karbon yang awalnya tertutupi oleh pengotor. Kemudian dengan adanya gas N₂ 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, Lai et al. 2007).

Pengukuran sifat elektrokimia pada bahasan ini yaitu menggunakan metoda voltammogram siklis atau biasa disingkat dengan CV, dimana pengukuran CV ini merupakan pengukuran nilai kapasitansi spesifik dari suatu elektroda karbon. Pengukuran CV dapat dilakukan menggunakan Solatron interface 1286 dengan menggunakan tiga elektroda, yaitu: elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda counter (penghitung) dengan larutan elektrolit asam sulfat (H₂SO₄) 1M.

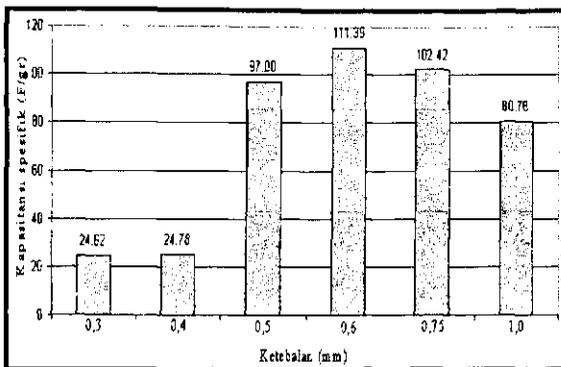
Pengukuran CV untuk sampel elektroda karbon dengan ketebalan yang berbeda-beda (0,3 mm; 0,4 mm; 0,5 mm; 0,6 mm; 0,75 mm dan 1,0 mm), dilakukan pada laju scan dari (1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 dan 80) mV/s. Pada gambar (4.4) di bawah ditunjukkan gambar voltammogram siklis untuk laju scan 5 mV/s pada setiap ketebalan elektroda.



Gambar 4.4. Voltammogram siklis berdasarkan perbedaan ketebalan pada laju scan 5mV/s

Berdasarkan gambar di atas, kurva pada pengukuran voltammogram siklis untuk scan rate 5 mV/s luas daerah pemisahan charge dan discharge semakin membesar dengan perbedaan ketebalan. Hal ini wajar terjadi karena disebabkan semakin tebalnya elektroda karbon maka semakin banyak jumlah kandungan karbon dan tentunya jumlah pori pun semakin banyak sehingga jumlah ion dapat diakumulasi (Park, Lokhande et al. 2004). Kurva pada ketebalan 0,5 mm; 0,6 mm; 0,75 mm dan 1,0 mm memiliki bentuk siklus yang hampir sama yaitu, bentuk segi empat yang sudah terganggu (kuasi superkapasitor (rektangular) yang lebih jauh dari bentuk ideal superkapasitor (rektangular) (Jisha, Hwang et al. 2009). Hal ini karena semakin tebal elektroda maka semakin besar pula nilai tahanan transfer arus pada bidang batas elektrolit dan elektroda (Burke 2000). Namun pada ketebalan 0,3 mm dan 0,4 mm bentuk kurva voltammogram yang dihasilkan sudah mendekati bentuk ideal superkapasitor. Hal ini disebabkan tahanan transferrnya kecil sehingga arus pada saat charge cepat terisi begitupun pada saat discharge, arus yang keluar juga akan semakin cepat.

Nilai kapasitansi spesifik berdasarkan perbedaan ketebalan penelitian yang dilakukan, pengukuran voltammogram siklis dengan variasi ketebalan dari 0,3 mm hingga 1,0 mm dengan laju scan 1 mV/s ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Diagram nilai kapasitansi spesifik berdasarkan perbedaan ketebalan pada laju scan 1 mV/s.

Pengukuran Voltammogram siklis berdasarkan perbedaan ketebalan menunjukkan hubungan perubahan arus terhadap tegangan yang akan diasumsikan untuk menentukan besarnya nilai kapasitansi spesifik dari pelet karbon. Nilai kapasitansi spesifik dapat diperoleh berdasarkan persamaan 2.12), dimana besar arus yang dihasilkan pada kurva voltammogram siklis dapat ditentukan dengan cara menentukan nilai tengah dari besar tegangan, dimana tegangan yang diambil adalah pada posisi 0,5V.

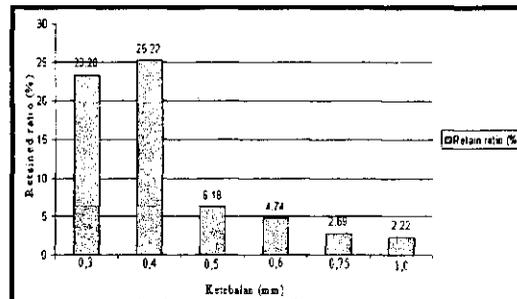
Seperti yang terlihat dari hasil pengukuran pada lampiran tabel 4.6., bahwa nilai kapasitansi spesifik untuk ketebalan 0,3 mm; 0,4 mm; 0,5 mm; 0,6 mm; 0,75 mm dan 1 mm untuk laju scan 1 mV/s adalah 24,62 F/gr; 24,78 F/gr; 97,00 F/gr; 111,39 F/gr; 102,42 F/gr; 80,78 F/gr. Pada pengukuran ini, nilai kapasitansi spesifik terbesar adalah 111,39 F/gr pada ketebalan 0,6 mm dan nilai kapasitansi spesifik terendah adalah 24,62 F/gr pada ketebalan 0,3 mm. Hal ini berbeda dengan teori, bahwa semakin tipis elektroda suatu karbon maka nilai kapasitansi juga semakin besar (Wang, Chong et al. 2003).

Pada ketebalan 0,6 mm merupakan ketebalan yang ideal untuk menghasilkan nilai kapasitansi spesifik, hal ini disebabkan oleh bentuk pori yang sudah terbuka. Sementara pada ketebalan 1,0 mm, bentuk pori yang terbuka sangat sedikit/berkurang, sehingga nilai kapasitansi spesifiknya semakin kecil begitu juga dengan elektroda yang tipis, pori yang dihasilkan sudah terbuka namun ion yang masuk sedikit, karena tinggi pori sudah berkurang. Hal ini akan menyebabkan nilai kapasitansi spesifik juga semakin kecil.

Dari data nilai kapasitansi spesifik terlihat bahwa nilai kapasitansi spesifik semakin berkurang setiap penambahan laju scan, hal ini dapat dipahami dengan mudah bahwa pada laju scan rendah, ion akan berpindah dan berdifusi ke dalam pori dengan mudah sehingga menyebabkan kapasitansi spesifiknya menjadi besar. Namun pada laju scan yang besar, ion-ion sulit untuk berdifusi ke dalam pori yang mengakibatkan ion-ion hanya berada pada

permukaan pori saja, alhasil nilai kapasitansi spesifiknya pun kecil.

Pada gambar dibawah (4.6.) ditunjukkan bahwa nilai "retained ratio" pada nilai laju scan 80 mV/s terhadap laju scan 1 mV/s berdasarkan nilai kapasitansi spesifik.

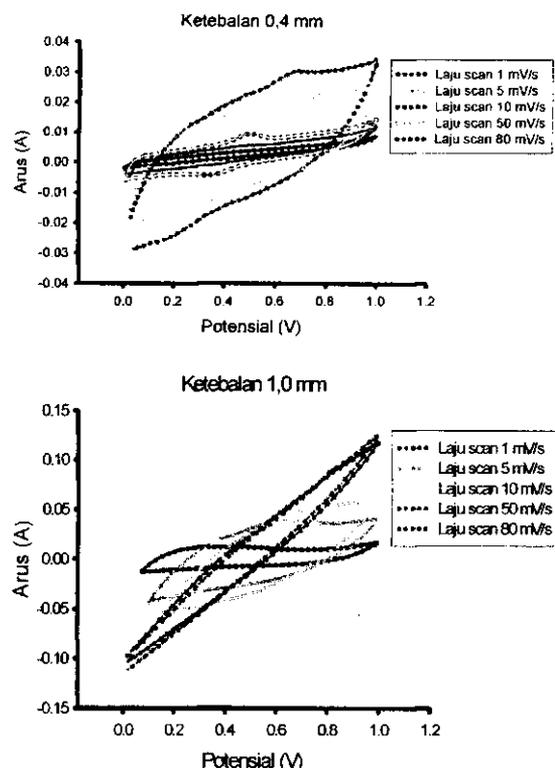


Gambar 4.6. Diagram hubungan nilai "retained ratio" terhadap perbedaan ketebalan

"Retained ratio" merupakan perbandingan nilai kapasitansi spesifik dari laju scan akhir terhadap laju scan awal. Berdasarkan persamaan 2.13, nilai "retained ratio" untuk ketebalan 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0 yaitu: 23,20 %; 25,22%; 6,18%; 4,74%; 2,69%; 2,22%. Nilai "retained ratio" tertinggi yaitu pada ketebalan 0,4 mm sebesar 25,22% dan "retained ratio" terendah pada ketebalan 1,0 dengan nilai 2,22%. Dapat diketahui bahwa pada ketebalan 0,4 mm memiliki nilai "retained ratio" yang paling besar. Hal ini disebabkan pada ketebalan 0,4 mm, ion dalam pori elektroda dapat masuk dengan mudah walaupun pada laju scan yang tinggi. Sebaliknya nilai "retained ratio" yang terendah yaitu pada ketebalan 1,0 mm, hal ini disebabkan karena ion yang masuk ke dalam pori elektroda pada scan rate tinggi sulit untuk masuk karena porinya tinggi dan kemungkinan sebagian ion tidak masuk ke dalam pori (Fuertes, Lota et al. 2005). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa kapasitansi yang dihasilkan untuk ketebalan 0,4 mm tetap besar walaupun pada laju scan tinggi sehingga "retained ratio" yang dihasilkan paling besar.

Pada gambar 4.7, dapat dilihat perbandingan nilai CV pada ketebalan 0,4mm dan 1,0 mm dengan laju scan rate yang berbeda (1, 5, 10, 50, 80) mV/s. Dari gambar dapat diketahui bahwa, pada ketebalan pada 0,4 mm meskipun laju scannya diperbesar namun tetap menghasilkan luas daerah charge discharge yang semakin besar. Hal ini disebabkan oleh proses reaksi reduksi oksidasi dan difusi ion yang masuk ke dalam pori sangat cepat sehingga menghasilkan kapasitansi dan "retained ratio" yang semakin besar. Maupun sebaliknya, pada ketebalan 1,0 mm terlihat bahwa meskipun laju scannya diperbesar namun tetap menghasilkan luas daerah charge discharge yang hampir sama besar. Hal ini disebabkan oleh ion tidak masuk sempurna ke dalam

pori sehingga menyebabkan nilai "retained ratio"-nya sangat kecil (Park, Lokhande et al. 2004).



Gambar 4.7. Perbandingan CV pada ketebalan 0,4 mm dan 1,0 mm

Apabila nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon dari serbuk gergaji kayu karet (SGKK) dibandingkan dengan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon dari tempurung kelapa dengan menggunakan metode yang sama yaitu metode voltammogram siklis, dimana nilai kapasitansi spesifik pelet karbon dari serbuk gergaji kayu karet tertinggi adalah 111,39 F/gr dan nilai kapasitansi spesifik dari tempurung kelapa adalah 79 F/gr (Obreja 2008). Sementara itu, nilai kapasitansi spesifik terendah pada pelet karbon serbuk gergaji kayu karet adalah 24,62 F/gr dan nilai kapasitansi spesifik dari tempurung kelapa adalah 20,79 F/gr. Perbandingan "retained ratio" untuk masing-masing bahan yaitu: 25,22% dengan ketebalan 0,4 mm pada elektroda serbuk gergaji kayu karet dan 22,04% dengan ketebalan 0,3 mm pada elektroda dari tempurung kelapa, hal ini menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan untuk elektroda tersebut tidak jauh berbeda. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dapat diketahui dengan jelas bahwa nilai kapasitansi spesifik pada elektroda karbon serbuk gergaji kayu karet (SGKK) memiliki nilai yang lebih baik dan "retained ratio" yang tidak jauh berbeda sehingga elektroda dari serbuk gergaji kayu karet dapat diaplikasikan untuk pembuatan superkapasitor.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa persentase susut massa pada proses pra-karbonisasi adalah sekitar 26,63%, hal ini disebabkan karena pada saat dilakukan proses pra-karbonisasi pada suhu 280°C kandungan air dari serbuk telah menghilang. Nilai densitas rata-rata sebelum proses karbonisasi adalah: 0,99 gr/cm³, setelah karbonisasi, nilai densitas rata-rata menurun drastis yaitu sebesar: 0,71 gr/cm³ dan setelah dilakukan proses aktivasi, nilai densitas rata-rata yaitu: 0,68 gr/cm³. Pengaktifan CO₂ pada proses aktivasi telah menunjukkan peningkatan luas permukaan karena pengaktifan CO₂ telah menghasilkan pori-pori yang baru. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada laju scan 1 mV/s adalah pada ketebalan 0,6 mm yaitu: 111,39, dan nilai retained ratio yang tertinggi adalah pada ketebalan 0,4 mm yaitu: 25,22%. Hal ini dipengaruhi oleh proses difusi/peyerapan di dalam pori.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadpour, A. and D. D. Do (1996). "The preparation of active carbons from coal by chemical and physical activation." *Carbon* 34(4): 471-479.
- Arepalli, S., H. Fireman, C. Huffman, P. Moloney, P. Nikolaev, L. Yowell, C.D. Higgins, K. Kim, P. A. Kohl, S. P. Turano, and W. J. Ready (2005). "Carbon-nanotube-based electrochemical double-layer capacitor technologies for spaceflight applications." *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society* 57(12): 26-31.
- Burke, A. (2000). "Ultracapacitors: why, how, and where is the technology." *Journal of Power Sources* 91(1): 37-50.
- Deraman, M., R. Omar, A. G. Harun (1998). "Young's Modulus of Carbon from Self-adhesive Carbon Grain of Oil Palm Bunches." *Journal of Materials Science Letters* 17(24): 2059-2060.
- Fuertes, A. B., G. Lota, T. A. Centeno, E. Frackowiak (2005). "Templated mesoporous carbons for supercapacitor application." *Electrochimica Acta* 50(14): 2799-2805.
- Guo, J. and A. C. Lua (2000). "Effect of surface chemistry on gas-phase adsorption by activated carbon prepared from oil-palm stone with pre-impregnation." *Separation and Purification Technology* 18(1): 47-55.
- Guo, J. and A. C. Lua (2003). "Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation." *Materials Chemistry and Physics* 80(1): 114-119.
- Jayalakshmi, M. and K. Balasubramanian (2008). "Simple Capacitors to Supercapacitors - An

- Overview." *Int. J. Electrochem. Sci* 3: 1196 - 1217.
- Jisha, M. R., Y. J. Hwang, J. S. Shin, K. S. Nahm, T. Prem Kumar, K. Karthikeyan, N. Dhanikaivelu, D. Kalpana, N. G. Renganathan, A. Manuel Stephan (2009). "Electrochemical characterization of supercapacitors based on carbons derived from coffee shells." *Materials Chemistry and Physics* 115(1): 33-39.
- Kötz, R. and M. Carlen (2000). "Principles and applications of electrochemical capacitors." *Electrochimica Acta* 45(15-16): 2483-2498.
- Kötz, R., M. Bärtzsch, et al. (2002). *HY.POWER - A Fuel Cell Car Boosted with Supercapacitors. The 12th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices*. Deerfield Beach, USA.
- Leofanti, G., M. Padovan, G. Tozzola, B. Venturelli (1998). "Surface area and pore texture of catalysts." *Catalysis Today* 41(1-3): 207-219.
- Lewandowski, A. and M. Galinski (2007). "Practical and theoretical limits for electrochemical double-layer capacitors." *Journal of Power Sources* 173(2): 822-828.
- Namisnyk, A. M. (2003). *A SURVEY OF ELECTROCHEMICAL SUPERCAPACITOR TECHNOLOGY*. Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney.
- Obreja, V. V. N. (2008). "On the performance of supercapacitors with electrodes based on carbon nanotubes and carbon activated material--A review." *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 40(7): 2596-2605.
- Pandolfo, A. G. and A. F. Hollenkamp (2006). "Carbon properties and their role in supercapacitors." *Journal of Power Sources* 157(1): 11-27.
- Park, B.-O., C. D. Lokhande, Hyung-Sang Park, Kwang-Deog Jung, Oh-Shim Joo (2004). "Performance of supercapacitor with electrodeposited ruthenium oxide film electrodes--effect of film thickness." *Journal of Power Sources* 134(1): 148-152.
- Prakash Kumar, B. G., K. Shivakamy, Lima Rose Miranda, M. Velan (2006). "Preparation of steam activated carbon from rubberwood sawdust (Hevea brasiliensis) and its adsorption kinetics." *Journal of Hazardous Materials* 136(3): 922-929.
- Srinivasakannan, C. and M. Zailani Abu Bakar (2004). "Production of activated carbon from rubber wood sawdust." *Biomass and Bioenergy* 27(1): 89-96.
- Wang, Y., N. Chong, Y. L. Cheng, H. L. W. Chan, C. L. Choy (2003). "Dependence of capacitance on electrode configuration for ferroelectric films with interdigital electrodes." *Microelectronic Engineering* 66(1-4): 880-886.
- Xing, W., S. Z. Qiao, R. G. Ding, F. Li, G.Q. Lu, Z.F. Yan, H. M. Cheng (2006). "Superior electric double layer capacitors using ordered mesoporous carbons." *Carbon* 44(2): 216-224.
- Zhao, J., C. Lai, Yang Dai, Jingjing Xie (2007). "Pore structure control of mesoporous carbon as supercapacitor material." *Materials Letters* 61(23-24): 4639-4642.
- Zhu, Y., H. Hu, Wencui Li, Xiaoyong Zhang (2007). "Resorcinol-formaldehyde based porous carbon as an electrode material for supercapacitors." *Carbon* 45(1): 160-165.