

**EFEK MODIFIKASI PERMUKAAN KARBON AKTIF MONOLIT TERHADAP
SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA SEL SUPERKAPASITOR**

Sri Yanti* , Erman Taer , Sugianto

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Bina widya Pekanbaru, 28293, Indonesia
*sriyanti@gmail.com**

ABSTRACT

Surface modification of activated carbon monolith electrode for a supercapacitor cell from rubber wood has successfully been made by two activation methods. Physical activation was performed using CO₂ gas at a temperature of 800°C, and chemical activation used 3 M KOH and 3 M NaOH as activation agents. This study used two kinds of activated agents, namely COK for KOH activated agent and CON for NaOH activated agent. Both activation methods yielded different physical and electrochemical properties. The physical properties that were analyzed were density, surface morphology, and BET surface area, whereas the electrochemical properties were specific capacitance, specific energy, and specific power. N₂ gas isothermal adsorption showed a BET surface area of 577.52 m²g⁻¹ and 441.45 m²g⁻¹. Meanwhile, the electrochemical properties obtained of sample were the specific capacitance values of 103.65 Fg⁻¹ and 83.45 Fg⁻¹ for CON and COK, respectively. Based on all obtained data and their analysis, it was concluded that KOH activators resulted the electrochemical properties better compared to those of NaOH activators.

Keywords: rubber wood , Activated carbon monolith, supercapacitors.

ABSTRAK

Telah berhasil dilakukan modifikasi permukaan elektrode karbon aktif monolit untuk sel superkapasitor dari kayu karet dengan metode aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan gas CO₂ pada suhu 800°C dan untuk aktivasi kimia menggunakan 3 M KOH dan 3 M NaOH sebagai zat aktivasi. Penggunaan zat aktivasi yang berbeda diberi label COK untuk zat aktivasi KOH dan CON untuk zat aktivasi NaOH. Kedua metode aktivasi menunjukkan sifat fisis dan elektrokimia yang berbeda. Sifat fisis yang diamati meliputi densitas, morphology permukaan dan luas permukaan BET, sedangkan sifat elektrokimia yang diperoleh adalah kapasitansi spesifik, energi spesifik dan daya spesifik. Adsorpsi isothermal gas N₂ menunjukkan luas permukaan BET sebesar 577,518 m²g⁻¹ dan 441,45 m²g⁻¹. Sifat elektrokimia yang dihasilkan sampel adalah nilai kapasitansi spesifik sebesar 103,65 Fg⁻¹ dan 83,45 Fg⁻¹ untuk sampel COK dan CON. Berdasarkan seluruh analisa data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa aktivator KOH menampilkan sifat elektrokimia yang lebih baik

Kata kunci: kayu karet, karbon aktif monolit, superkapasitor.

PENDAHULUAN

Prestasi sel superkapasitor salah satunya dapat ditentukan oleh sifat elektroda yang digunakan. Secara umum elektroda dapat dikelompokkan menjadi psudokapasitif dan lapisan ganda. Psudokapasitif elektroda menghasilkan sifat kapasitif berdasarkan reaksi reduksi dan oksidasi pada bahan-bahan tertentu, seperti logam oksida (RuO_2 , MnO_2 , CuO , NiO , V_2O_5 dll) dan polimer penghantar. Penyimpanan energi berdasarkan lapisan ganda yang terakumulasi oleh muatan ion yang terjadi di antarmuka elektroda/elektrolit, sehingga luas permukaan spesifik yang tinggi dan volume pori yang besar pada elektroda merupakan persyaratan dasar yang untuk mencapai kapasitansi yang tinggi (Gao *et al.*, 2009).

Karbon aktif sebagai elektroda sel superkapasitor dapat dibuat dari bahan biomassa. Elektroda berbasis karbon dari bahan biomassa merupakan salah satu jenis elektroda yang sangat digemari karena beberapa sifat seperti, harga yang relatif murah, sumber bahan asal yang mudah didapat dan struktur pori yang mudah dikontrol. Kayu karet merupakan salah satu bahan biomassa yang banyak terdapat di wilayah Asia Tenggara, khususnya Malaysia, Indonesia, dan Thailand. Pohon karet mempunyai struktur batang yang lurus sehingga dapat menghasilkan struktur pori yang tersusun relatif teratur. Pori yang teratur ini diharapkan dapat menghasilkan elektroda dengan kemampuan alir elektrolit yang lebih bagus dibandingkan elektroda dengan struktur pori acak. Struktur

pori teratur akan menghasilkan transfer pemindahan ion yang cepat sehingga menghasilkan daya superkapasitor yang lebih tinggi.

Modifikasi pada pori elektroda karbon aktif dilakukan untuk lebih meningkatkan kemampuan elektroda dalam menyimpan energi. Hal ini disebabkan sebagian besar pori yang ada secara alami merupakan pori makro, sehingga nilai luas permukaan elektroda masih rendah. Beberapa upaya dapat dilakukan untuk menambah struktur pori meso dan mikro pada dinding – dinding pori makro. Diharapkan dengan meningkatkan pori meso dan mikro akan menghasilkan struktur lapisan ganda yang lebih banyak dan pada akhirnya akan dapat meningkatkan nilai energi sel superkapasitor yang dihasilkan. Modifikasi permukaan elektroda dapat dilakukan dengan dua metode pengaktifan yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Modifikasi permukaan bertujuan untuk mengatur struktur dan distribusi pori. Modifikasi permukaan secara umum dapat merubah sifat fisis dan elektrokimia bahan elektroda.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan biomassa kayu karet sebagai bahan dasar pembuatan pembuatan elektroda karbon aktif monolit. Kayu karet diambil dari perkebunan kayu karet Kabupaten Indragiri Hulu, Kecamatan, Batang Peranap, Desa Selunak.

Pembuatan karbon aktif monolit dimulai dengan memotong batang kayu karet secara melintang dengan ketebalan 4mm - 6mm. Kayu karet yang sudah dipotong dikeringkan dengan suhu 110 °C

dengan menggunakan oven selama ± 12 jam hingga mencapai massa konstan. Proses pengeringan dimaksudkan agar sampel kayu karet tidak pecah saat mengalami susut massa pada saat dikarbonisasi. Kayu karet dicetak berbentuk koin dengan diameter 20 mm. Kayu karet dikarbonisasi pada suhu 600°C dengan diberi aliran gas Nitrogen (N_2), setelah karbonisasi kayu karet dipoles dengan menggunakan kertas pasir konveks P1000 dan P1200 hingga mencapai ketebalan 1 mm dan diameter 12,5 mm.

Elektroda karbon aktif monolit disiapkan dengan pengaktifan fisika dan kimia. Aktivasi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar diameter pori setelah proses karbonisasi serta dapat meningkatkan penyerapan ion ke dalam pori (Park *et al.*, 2004). Proses aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan gas CO_2 pada suhu 800°C . Proses aktivasi dilanjutkan dengan proses aktivasi kimia yang terdiri dari dua jenis penggunaan zat aktivator berbeda yaitu 3M KOH dan 3M NaOH. Terakhir kedua sampel diaktivasi dengan menggunakan larutan 25% HNO_3 . Masing-masing sampel diberi label COK untuk penggunaan aktivator KOH dan CON untuk penggunaan NaOH.

Pengukuran prestasi elektroda sel superkapasitor terdiri dari pengukuran sifat fisis dan sifat elektrokimia. pengukuran sifat fisis meliputi densitas dan luas permukaan BET sedangkan untuk pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metode galvanostatik *charge-discharge*.

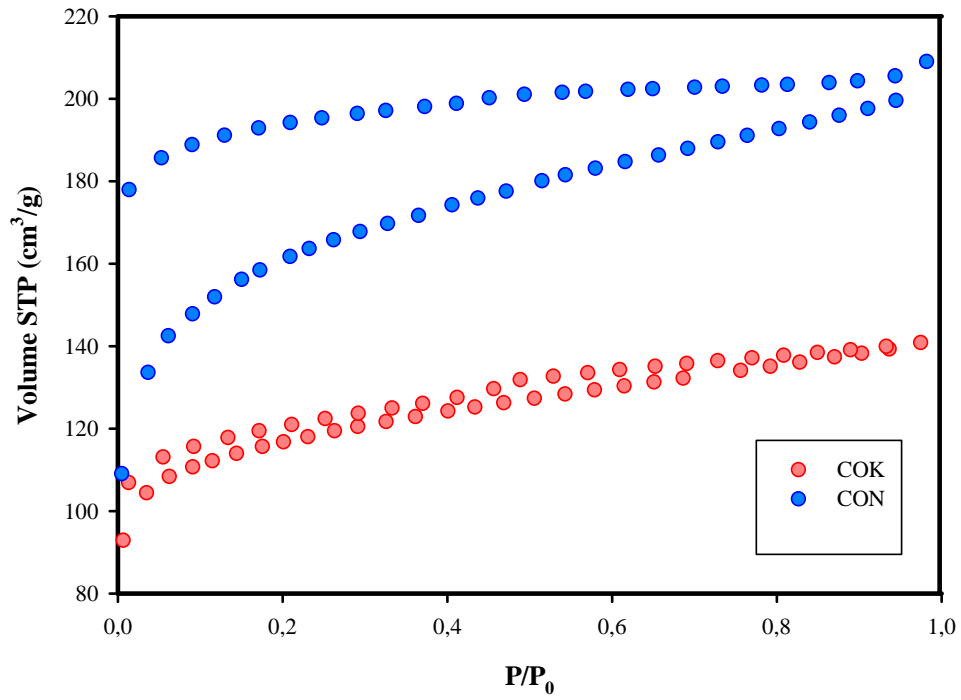
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Sifat Fisis

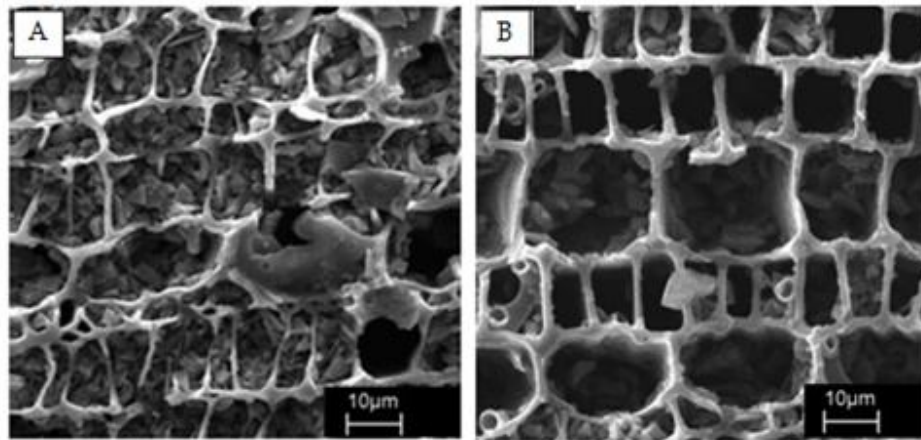
Densitas suatu karbon aktif memiliki peranan yang cukup penting dalam memperoleh nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari elektroda sel superkapasitor. Hal ini berkaitan dengan pembentukan struktur pori dan tahanan yang dihasilkan pada saat pengukuran elektrokimia pada sel superkapasitor. Pada saat karbonisasi terjadi proses pirolisis dimana bahan yang bukan karbon seperti uap air, abu dan unsur lainnya menguap sehingga membentuk banyak pori, namun dari proses tersebut struktur pori yang terbentuk masih belum sempurna sehingga perlu dilakukan penguatan struktur pori. Proses tersebut dapat dilakukan dengan cara pengaktifan kimia dan fisika. Pengaktifan yang dilakukan akan berdampak pada nilai densitas karbon yang dihasilkan.

Berdasarkan pengukuran nilai densitas dihasilkan nilai densitas untuk masing-masing elektroda COK dan CON sebesar 0.351 g/cm^3 dan 0.371 g/cm^3 .

Sifat porositas pada elektroda karbon monolit di analisis dengan metode adsorpsi-desorpsi isothermal gas Nitrogen pada suhu 77°K . Luas permukaan dan sifat pori karbon yang dihasilkan dianalisis menggunakan metode Brauner-Emmet-Teller (BET) dan untuk distribusi ukuran pori dievaluasi menggunakan desorpsi percabangan isotherm gas nitrogen menggunakan model Barret-Joyner-Halenda (BJH) (Wu *et al.*, 2013).



Gambar 1. Hubungan volume serapan terhadap perubahan tekanan gas N₂ untuk karbon aktif monolit dari kayu karet.



Gambar 2. SEM mikrograf (A) COK dengan daya perbesaran 500X (B) CON dengan daya perbesaran 500X.

Hubungan volume serapan gas N₂ terhadap perubahan tekanan gas P/P₀ untuk elektroda COK dan CON ditunjukkan pada Gambar 1.

Serapan gas adsorpsi isothermal gas N₂ terlihat pada tekanan diatas 0,1 yang menunjukkan pola serapan gas tipe I, dimana pola serapan tipe I menunjukkan bahwa pada tekanan rendah mengalami peningkatan penyerapan dan pada tekanan yang lebih tinggi tampak tidak menunjukkan penyerapan yang berarti. Model serapan gas tipe I ini menunjukkan bahwa ukuran rata-rata pori merupakan pori mikro. Berdasarkan pengukuran serapan gas Nitrogen diperoleh luas permukaan BET sebesar 441,45 m²/g dan 577,52 m²/g untuk sampel COK dan CON.

Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk memperlihatkan morfologi permukaan elektroda COK dan CON. Pengukuran SEM dilakukan pada ditampilkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan bahwa elektroda dengan kode COK menggunakan zat aktivasi 3 M KOH dan 25% HNO₃, menunjukkan ukuran diameter pori yang hampir merata dengan diameter pori rata-rata sebesar 9,5 μm dan 11,3 μm untuk elektroda COK dan CON yang terisi penuh oleh butiran-butiran nano karbon.

B. Pengukuran Sifat Elektrokimia

Charge - discharge dilakukan untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk pengisian dan pengosongan fungsi dari potensial kerja yang diukur dalam elektrolit 1 M H₂SO₄, dimana pengukuran ini dilakukan pada rentang potensial 0 s.d 1 V. Hasil pengukuran

galavanostatik *charge-discharge* ditampilkan pada Gambar 3.

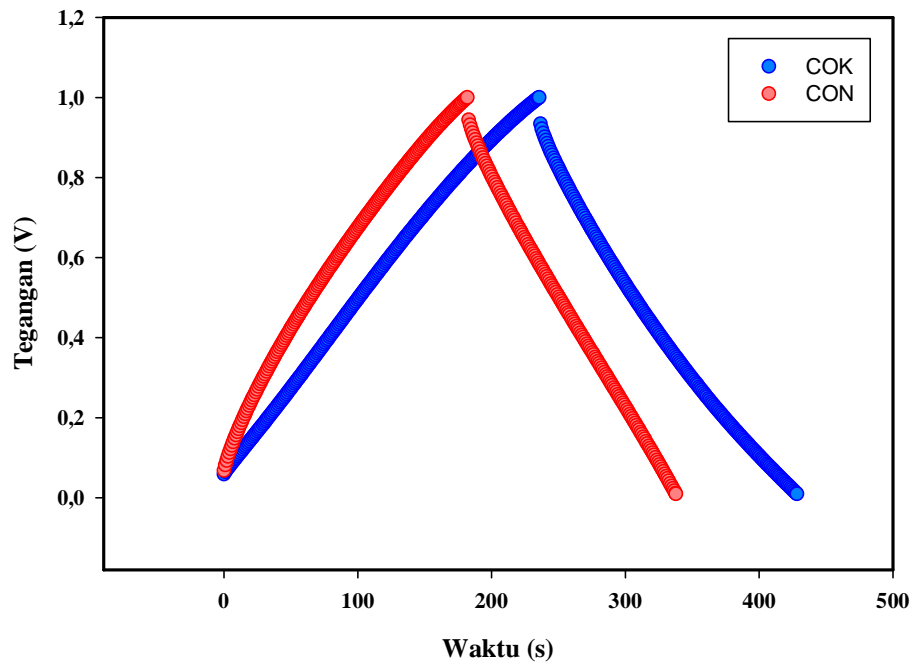
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa kedua elektroda COK dan CON menunjukkan waktu *charge-discharge* yang berbeda. Elektroda COK menunjukkan waktu pengukuran *charge-discharge* yang jauh lebih lama dari elektroda CON, hal ini menyebabkan elektroda COK dapat diisi dengan lebih banyak ion atau elektrolit (Ismanto et al., 2010) dibandingkan dengan elektroda CON.

Menurut Ismanto *et al.*, 2010 perbedaan waktu pada saat proses *charge-discharge* merupakan faktor yang dapat mempengaruhi bentuk simetri dari segitiga sama kaki pada grafik. Perbedaan waktu *charge-discharge* yang sedikit akan membentuk segitiga dan segitiga sama kaki yang lebih simetris yang mengindikasikan efisiensi yang semakin tinggi pada saat *charge-discharge*. Efisiensi yang tinggi pada superkapasitor menunjukkan bahwa elektroda karbon dapat terhubung dengan baik dengan larutan elektrolit atau dengan kata lain karbon memiliki *hydrophilicity* tinggi pada permukaannya.

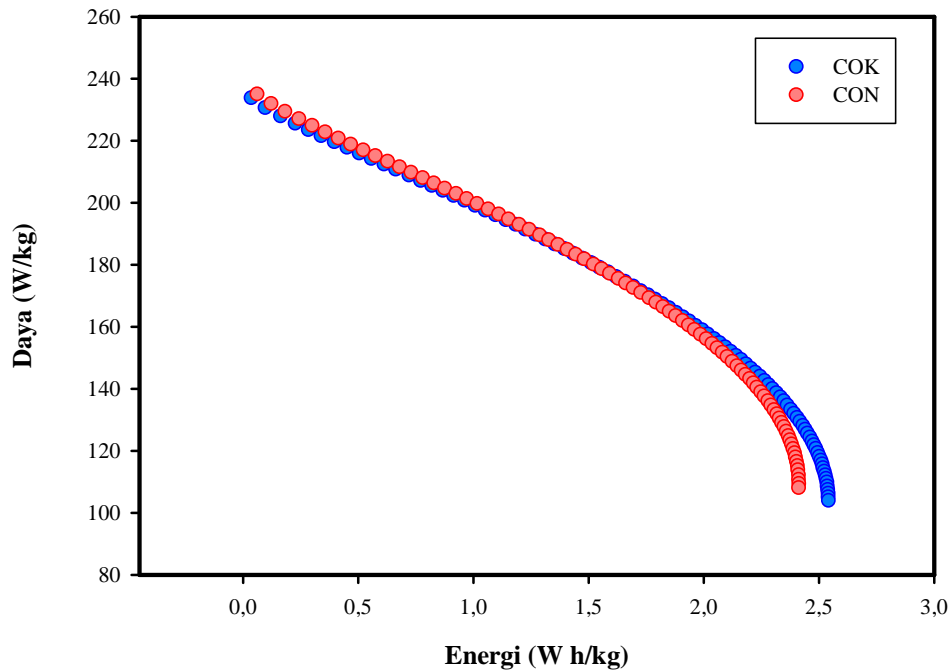
Berdasarkan perbedaan waktu *charge discharge* untuk kedua sampel dapat dihitung nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Perhitungan nilai kapasitansi spesifik berdasarkan metode *charge-discharge* dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$C_{sp} = \frac{2xIx\Delta t}{mx\Delta V} \quad (1)$$

Dimana C_{sp} merupakan kapasitansi spesifik (Fg⁻¹), I adalah arus (A), t merupakan waktu (s), m merupakan



Gambar 3. Grafik *charge-discharge* elektroda karbon COK dan CON pada rapat arus $0,01 \text{ mA/cm}^2$



Gambar 4. Rapat daya dan rapat energi sel superkapasitor diperoleh dari grafik *charge-discharge* pada *scan rate* $0,01 \text{ mA/cm}^2$.

massa (g). Perolehan nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda COK dan CON diperoleh sebesar $103,655 \text{ Fg}^{-1}$ dan $83,455 \text{ Fg}^{-1}$.

Pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metode *charge-discharge* dapat juga dianalisis nilai energi spesifik dan daya spesifik. Nilai energi spesifik dan daya spesifik pada elektroda COK dan CON dapat ditampilkan pada Gambar 4. Densitas energi untuk kedua elektroda berada pada keadaan minimum ketika nilai energi berada pada nilai $0,060 \text{ Wj/kg}$ dan $0,034 \text{ Wj/kg}$, sedangkan pada saat yang bersamaan dihasilkan nilai densitas daya maksimum sebesar $235,11 \text{ W/kg}$ dan $233,83 \text{ W/kg}$ untuk masing-masing elektroda CON dan CON. Nilai densitas energi menurun sejalan dengan peningkatan densitas daya, hal ini sesuai dengan Gambar 4 yang menampilkan peningkatan energi secara linear pada rentang $0-2 \text{ Wj/kg}$ dan pada rentang energi $\geq 2,0 \text{ Wj/kg}$ terjadi penurunan secara eksponensial pada densitas daya. Penurunan secara eksponensial tersebut menghasilkan densitas energi bernilai maksimum pada elektroda COK yaitu $2,54 \text{ Wj/kg}$. Keterbatasan nilai energi dan daya biasanya dipengaruhi oleh resistansi kompleks dan jalur difusi berliku-liku dalam tekstur berpori.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai pembuatan elektroda karbon monolit sel superkapasitor dengan metode aktivasi fisika dan kimia menggunakan kayu karet telah berhasil memodifikasi pembuatan elektroda karbon monolit dengan menggunakan gabungan aktivasi fisika dengan gas CO_2 dan aktivasi

kimia dengan KOH dan NaOH. Penggunaan agen aktivasi KOH dan NaOH menghasilkan luas permukaan karbon aktif sebesar $441,45 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ dan $577,52 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ dengan pola isoterm jenis ke I. Hasil SEM menunjukkan tampilan topologi permukaan yang beragam. Pengaktifan dengan menggunakan aktivator NaOH memiliki topologi permukaan yang lebih teratur serta susunan lubang pori yang kosong dan tidak terisi, dibandingkan dengan penggunaan aktivator KOH yang memiliki topologi permukaan yang hancur dan lubang porinya banyak terisi oleh nanokarbon akibat proses aktivasi.

Pengukuran sifat elektrokimia menggunakan *charge-discharge* menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar $103,65 \text{ Fg}^{-1}$ dan $83,45 \text{ Fg}^{-1}$ yang diikuti dengan nilai energi spesifik sebesar $2,54 \text{ Wj/kg}$ dan $2,41 \text{ Wj/kg}$ untuk sampel COK dan CON.

DAFTAR PUSTAKA

- Gao, B., Yuan, C. Z., Su, L. H., Chen, L., Zhang, X. G. 2009. Nickel oxide coated on ultrasonically pretreated carbon nano tube for supercapacitor. *J Solid State Electrochemical*; 13: 1251.
- Ismanto, A. E., Wang, Steven., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S. 2010. Preparation of capacitor's electrode from cassava peel waste. *Bioresource Technology*; 101: 3534.
- Park, B. O., Lokhande, C. D., Park, H. S., Jung, K. D., Joo, O. S. P. et al. 2004. Performance of

supercapacitor with electrodeposited ruthenium oxide film electrodes-effect of film thickness. *Journal of Power Sources*; 134:148.

Wu, X., Hong, X., Luo, Z., Hui, K. S., Chen, H., Wu, J., Hui, K. N., Li, L., Nan, J., Zhang, Q. 2013. The effects of surface modification on the supercapacitive behaviors of novel mesoporous carbon derived from rod-like hydroxyapatite template. *Electrochimica Acta*; 89: 400.