

PEMBUATAN ELEKTRODA KARBON BERPORI DARI TEMPURUNG KEMIRI DAN PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM *CAPACITIVE DEIONIZATION* (CDI) UNTUK DESALINASI AIR PAYAU

FABRICATION OF A POROUS CARBON ELECTRODE PREPARED WITH CANDLENUT SHELL AND DESIGN OF CAPACITIVE DEIONIZATION (CDI) SYSTEM PROTOTYPE FOR DESALINATION OF BRACKISH WATER

Astuti, M. Taspika*

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

Diterima: 18 Agustus 2014. Disetujui: 20 September 2014. Dipublikasikan: Januari 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan karbon aktif dengan bahan dasar tempurung kemiri menggunakan H_3PO_4 2,5% sebagai aktivator dengan suhu aktivasi (400, 500, dan 600) °C. Luas permukaan aktif yang dihasilkan masing-masing adalah (6,6; 95,6; dan 391,6) m^2/g . Karbon yang diaktivasi pada suhu 600 °C digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda kapasitor untuk sistem *capacitive deionization* (CDI) menggunakan polimer *polyvinyl alcohol* (PVA) sebagai ipengikat. Berdasarkan data voltammogram siklik terhadap elektroda CDI diperoleh besar kapasitansi spesifik elektroda adalah 50,21 mF/g. Proses desalinasi dilakukan pada larutan NaCl 0,24 M dengan menyusun elektroda menggunakan sistem monopolar dan diberitegangan DC 1,2 V. Penurunan konduktivitas larutan NaCl menggunakan sistem CDI ini sebesar 61,58%, dengan penurunan kadar natrium dalam larutan NaCl yaitu dari 138,0 mg/L menjadi 80,7 mg/L selama 40 menit. Karbon aktif tempurung kemiri ini sangat potensial untuk dikembangkan sebagai elektroda CDI untuk sistem desalinasi air payau.

ABSTRACT

A research on the activated carbon that prepared with the candlenut shell by using H_3PO_4 2,5% as the activating agent has been done. All samples were heated at the temperatures of (400, 500, and 600) °C. The activated carbon have specific surface area (6.582; 95.623; and 391.567) m^2/g respectively. Capacitor electrode for capacitive deionization (CDI) was fabricated by using activated carbon that was heated at activation temperature of 600 °C with *polyvinyl alcohol* (PVA) as the binder. Based on cyclic voltammogram of electrode, specific capacitance of CDI electrode is 50.21 mF/g. To observe desalination process of electrode, CDI was made by monopolar system and immersed in NaCl 0.24 M as brackish water sample. Direct current voltage 1.2 V was applied to CDI cell. The decrease of NaCl conductivity with CDI system respectively is 61.58%. Sodium concentration in NaCl decreases from 138.000 mg/L to 80.667 mg/L about 40 minutes of desalination process. The activated carbon that prepared from candlenut shell is potential to be developed as CDI system for desalination of brackish water.

© 2015 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: activated carbon; desalination; capacitive deionization (CDI)

*Alamat Korespondensi:

Kampus Universitas Andalas, Limau Manis, Padang 25163
E-mail: tuty_phys@yahoo.com

PENDAHULUAN

Sebagian besar air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari berasal dari sumur galian atau sumur bor. Namun, tidak semua air yang bersumber dari sumur galian atau sumur bor adalah air bersih karena pengaruh letak geologis sumur tersebut. Sumur yang terletak di daerah rawa dan pesisir pantai umumnya memiliki air payau dengan kadar klorida yang tinggi sehingga tidak bisa dikonsumsi langsung untuk kebutuhan sehari-hari. Kadar klorida yang terkandung dalam air payau adalah (1.000-35.000) mg/L, sedangkan kadar klorida yang diperbolehkan dalam air minum harus kecil dari 500 mg/L (Zou, 2011). Oleh karena itu, air payau harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan.

Proses pengolahan air payau menjadi air tawar dikenal dengan istilah desalinasi. Desalinasi adalah proses menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air tawar yang dapat dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari. Metode desalinasi yang biasa digunakan adalah *multi stage flash* (44,4%), *reverse osmosis* (41,1%), *multi effect distillation* dan metode termal lain (8,4%), sisanya adalah elektrodialisis dan metode yang lain (6,1%). Dibutuhkan energi sebesar (26,4-36,7) kWh/m³ untuk *multi effect distillation*, (23,9-96) kWh/m³ untuk *multi stage flash*, dan (3,6-5,7) kWh/m³ untuk *reverse osmosis* (Humplik, et.al., 2011). Selain membutuhkan energi yang tinggi, *reverse osmosis* juga membutuhkan bahan kimia. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang lebih baik, yaitu metode *capacitive deionization* (CDI) untuk proses desalinasi air payau. Proses CDI memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metoda desalinasi lain, di antaranya adalah hemat energi karena dapat dioperasikan pada tegangan DC yang rendah dan ramah lingkungan karena tidak membutuhkan bahan kimia dalam proses desalinasi.

Efisiensi dari metoda CDI tergantung pada kemampuan elektrosorpsi ion-ion dalam larutan oleh *electric double layer* (EDL) yang terbentuk ketika elektroda diberi beda potensial yang dipengaruhi langsung oleh luas permukaan spesifik material yang digunakan untuk pembuatan elektroda. Material karbon memiliki konduktivitas listrik yang baik dan luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga bisa digunakan sebagai elektroda. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat elektroda CDI menggunakan material karbon, termasuk karbon *nanotube*, karbon *aerogel*, CDC, dan

graphene (Wang, et.al., 2013). Karbon *aerogel* banyak digunakan sebagai bahan dasar elektroda CDI karena ukuran pori dari karbon *aerogel* yang mudah dikontrol dengan konduktivitas yang superior (Park, et.al., 2011).

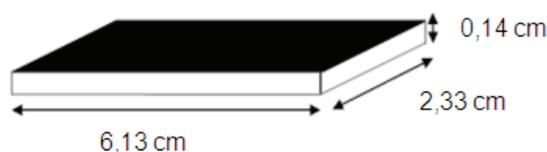
Lim, et.al., (2009) membuat elektroda karbon berpori dari campuran bubuk karbon aktif dan larutan *polyvinylidene fluoride* (PVDF) dengan *N-methyl-2-pyrrolidone* (NPM) sebagai ikatan polimer menggunakan metode inversi fasa basah untuk desalinasi air payau. Ukuran pori elektroda yang dihasilkan adalah (64,2-82,4) nm. Ukuran pori meningkat dengan meningkatnya kadar NPM. Besar kapasitansi listrik yang dihasilkan adalah 2,18 F/cm² untuk 50% berat bubuk karbon aktif sampai 4,77 F/cm² untuk 90% berat bubuk karbon aktif. Kekurangan dari penelitian ini adalah pori yang dihasilkan masih berupa makropori. Fellman (2010) melakukan penelitian tentang aplikasi kapasitor *electric double layer* berbahan dasar karbon aktif dan karbon *cloth* untuk desalinasi air. Pada penelitian ini diperoleh besar kapasitansi material karbon adalah 40 F/g untuk 2.000 m²/g karbon *cloth*, 32 F/g untuk 1.000 m²/g karbon *cloth*, dan 25 F/g untuk karbon aktif. Pengembangan elektroda untuk CDI dengan bahan karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa telah diteliti oleh Himmaty, et.al., (2013). Elektroda tersebut digunakan pada sistem CDI untuk proses desalinasi yang diujikan pada larutan garam NaCl. Kapasitansi spesifik dari elektroda yang dibuat adalah 7,8 mF/g dengan porositas 13,4%. Sistem CDI ini mampu menurunkan kadar NaCl sebesar 10,4 % selama 5 menit, namun setelah 20 menit, kemampuan elektrosorpsi elektroda karbon berkurang karena permukaan elektroda telah ditempati oleh ion, sehingga efisiensi pengurangan ion menjadi lebih rendah.

Pada penelitian ini dibuat elektroda kapasitor karbon berpori menggunakan karbon aktif yang berasal dari tempurung kemiri. Tempurung kemiri memiliki kadar karbon terikat sebesar 90,48-93,38%. Kadar karbon terikat tempurung kemiri lebih tinggi dibandingkan bahan organik lain, seperti kayu Pinus (53,63-71,93%) dan tempurung kelapa sawit (66,79-77,73%) (Lempang, et.al., 2009; Komarayat, et.al., 2004; Purwanto, 2011). Peningkatan kemampuan elektrosorpsi elektroda dilakukan dengan cara meningkatkan luas permukaan elektroda karbon. PVA digunakan sebagai polimer pengikat elektroda pada *collector* arus sehingga karbon tidak lepas ketika digunakan untuk desalinasi. Sebagai separator elektroda

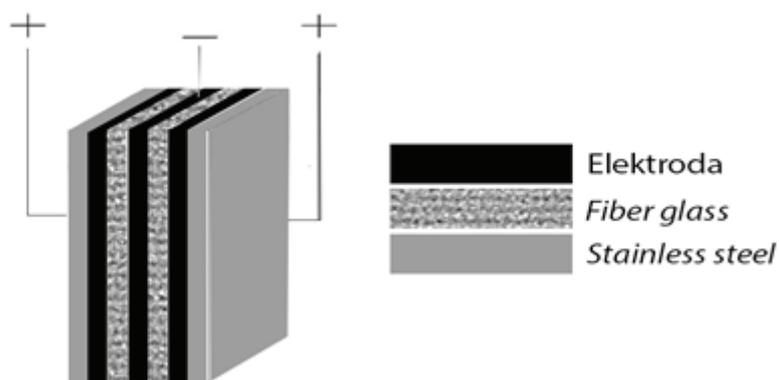
digunakan lembar *fiberglass*. Pengujian sistem CDI dilakukan dengan cara menyusun elektroda karbon dengan sistem monopolar dan diberi tegangan DC 1,2 V.

METODE

Pembuatan arang aktif yang berbahan dasar tempurung kemiri dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: tempurung kemiri dibersihkan, lalu dicuci dan dikeringkan. Kemudian dikarbonisasi pada suhu 500 °C. Arang tempurung kemiri dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk arang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 dengan konsentrasi 2,5% selama 24 jam, dan disintering pada suhu (400, 500, dan 600) °C. Karbon dicuci dengan aquades hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan dalam *furnace* pada suhu 120 °C dan karbon siap digunakan. Pembuatan elektroda CDI dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :PVA dilarutkan sebanyak 1 g kedalam 10 mL aquades pada suhu 40 °C selama 15 menit, sebanyak 1 g karbon ditambahkan kedalam larutan PVA dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40 °C selama 2 jam sampai homogen, kemudian dilapisi (*coating*) pada grafit. Elektroda dipanaskan pada suhu 50 °C selama 1 jam. Elektroda tersebut direndam dalam larutan KCl 0,5 M selama 24 jam. Bentuk dan dimensi elektroda CDI terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi elektroda CDI



Gambar 2. Susunan elektroda CDI

Perancangan sistem CDI untuk desalinasi air payau dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut : Dua keping elektroda disusun berlapis dengan *fiberglass* sebanyak 3 lembar yang terletak diantara kedua elektroda seperti pada Gambar 2. Kemudian elektroda dilapisi dengan *stainless steel* dan dihubungkan ke catudaya menggunakan kabel *crocodile*. Desalinasi dilakukan dengan dua cara, menggunakan dua sel CDI yang disusun dengan sistem monopolar. Sistem CDI dimasukkan ke dalam sampel air payau yaitu NaCl 0,24 M, kemudian sistem CDI diberikan tegangan 1,2 V. Penurunan konduktivitas air payau diukur dan digambarkan dalam bentuk grafik konduktivitas terhadap waktu.

Karakterisasi dan analisis sampel dilakukan meliputi pengukuran luas permukaan karbon menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA, *Quantachrome Instruments NOVA*) dan dianalisis menggunakan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET). Analisis morfologi karbon dan elektroda dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, *JEOL-JSM-6510LV*) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Karakterisasi arus dan tegangan elektroda menggunakan Voltamogram Siklik (*Cyclic Voltammetry*, EChem v2.1.5). Hasil uji sistem CDI dilakukan terhadap pengukuran konduktivitas air payau menggunakan *Conductivitymeter* (CD-4303), dan penentuan kadar ion natrium dalam menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS, Rayleigh)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas permukaan karbon aktif di ukur dengan SAA dan dianalisis menggunakan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET). Adsorbat yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah

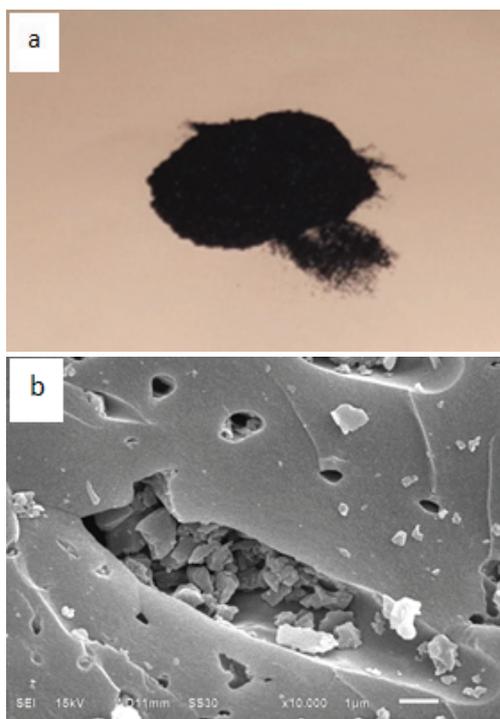
gas N_2 dengan suhu 77,35 K.

Pada Tabel 1, terlihat bahwa semakin tinggi suhu aktivasi maka semakin besar luas permukaan karbon. Karbon dengan suhu aktivasi 600 °C memiliki luas permukaan aktif paling besar, yaitu 391,567 m^2/g . Sedangkan karbon dengan luas permukaan paling kecil adalah karbon dengan suhu aktivasi 400 °C, yaitu 6,582 m^2/g . Suhu aktivasi yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih tinggi untuk menguapkan activator yang menutupipori-pori karbon sehingga luas permukaan karbon menjadi lebih besar. Karbon yang digunakan sebagai bahan dasar elektroda untuk sistem CDI hanya karbon dengan suhu aktivasi 600 °C.

Tabel 1. luas permukaan karbon

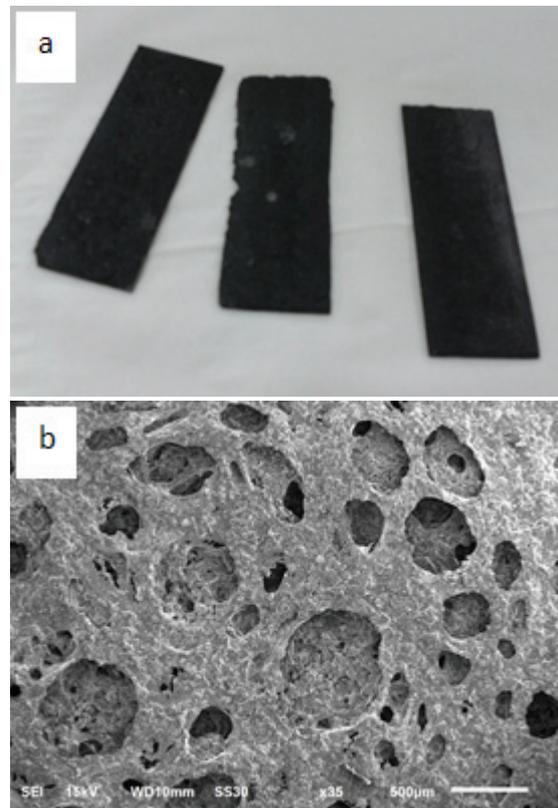
No	Suhu aktivasi (°C)	Luas permukaan aktif (m^2/g)
1	400	6,582
2	500	95,623
3	600	391,567

SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan. Gambar 3. adalah foto serbuk karbon dan morfologi permukaan karbon yang telah diaktivasi pada suhu 600 °C. Berdasarkan Gambar tersebut terlihat adanya pori-pori pada permukaan karbon. Pori-pori ini berfungsi dalam memperluas permukaan absorpsi pada karbon.



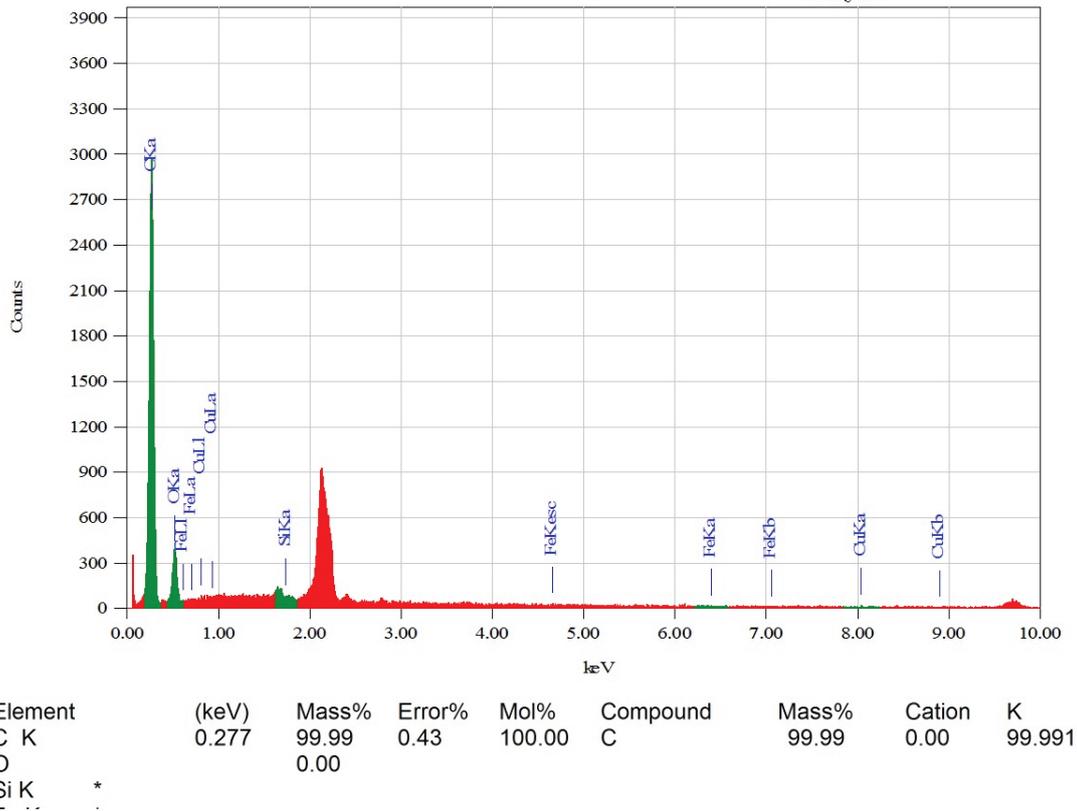
Gambar 3. a). Serbuk karbon dengan suhu aktivasi 600°C, b). SEM Serbuk karbon dengan suhu aktivasi 600°C.

Gambar 4.a merupakan elektroda karbon yang terdiri dari lapisan grafit dan karbon katif, sedangkan gambar 4.b merupakan foto SEM elektroda tersebut. Berdasarkan foto SEM juga dapat dilihat adanya pori-pori pada permukaan elektroda yang berperan dalam proses penyerapan ion-ion Na^+ dan Cl pada air payau. PVA berfungsi sebagai *binder* (pengikat) karbon sehingga karbon tidak lepas dari *collector* arus ketika elektroda digunakan sebagai elektroda CDI. Ikatan antara karbon dengan PVA membentuk jaringan dengan struktur yang kompak. Ikatan ini mengikat karbon sehingga tidak larut dalam air ketika digunakan untuk proses desalinasi.

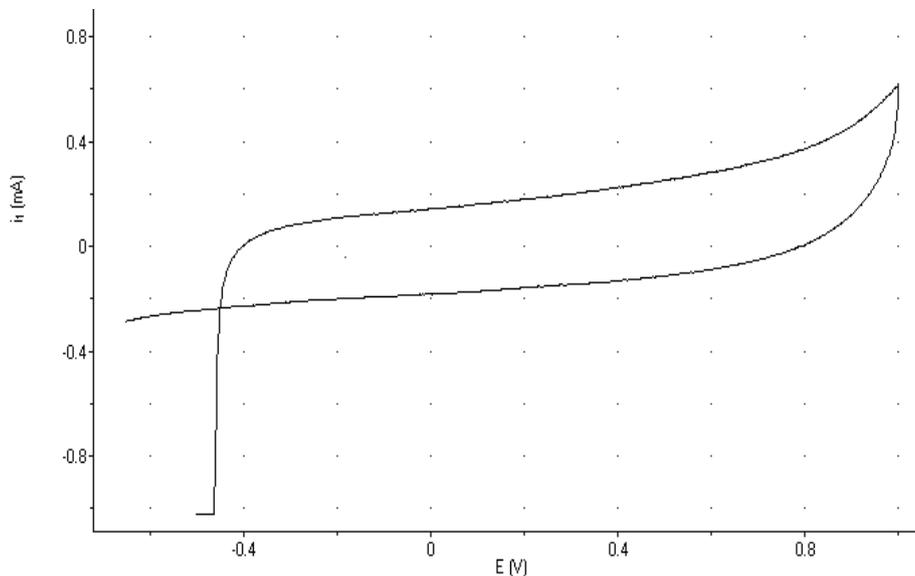


Gambar 4. a). Elektroda karbon dengan suhu aktivasi 600°C, b). SEM elektroda karbon dengan suhu aktivasi 600°C.

Berdasarkan hasil EDS karbon aktif pada suhu 600 °C, terlihat bahwa kandungan karbon adalah 99,99%. Hal ini menunjukkan hampir tidak ada pengotor atau zat lain dalam karbon hasil sintesis tersebut.



Gambar 5. Hasil EDS karbon dengan suhu aktivasi 600 °C.

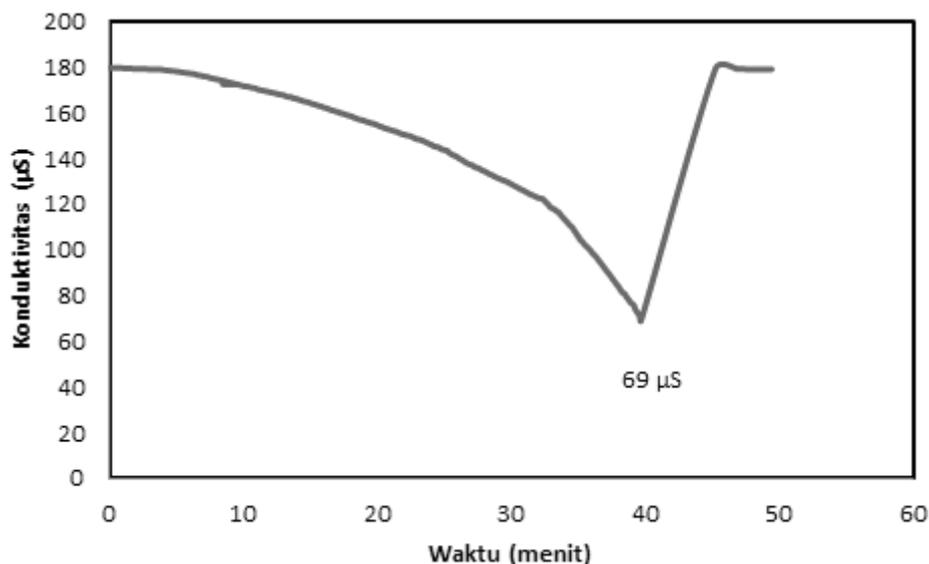


Gambar 6. Voltammogram siklik elektroda CDI dengan suhu aktivasi 600 °C.

Hasil Uji Voltammogram Siklik Elektroda CDI

Gambar 6. merupakan hasil voltammogram siklik elektroda CDI dengan suhu aktivasi 600 °C pada potensial *scan rate* 5 mV/s. Sumbu vertikal dan horizontal voltammogram berturut-turut adalah kuat arus (mA) dan potensial (V). Proses adsorpsi dan desorpsi terjadi pada permukaan elektroda ketika elektroda di-

berikan potensial. Pada gambar tersebut terlihat bahwa voltammogram siklik yang dihasilkan simetri. Ini menunjukkan bahwa EDL yang terbentuk pada permukaan elektroda bersifat reversibel ketika elektroda diberikan tegangan. Suatu kapasitor ideal akan menghasilkan voltammogram siklik bentuk persegi. Deviasi bentuk persegi dari voltammogram siklik diaki-



Gambar 7. Grafik elektrosorpsi larutan NaCl 0,24 M

batkan oleh adanya resistansi pengisian elektroda.

Gambar 6 merupakan voltammogram siklik elektroda CDI, terlihat besar arus puncak elektroda adalah 0,6192 mA pada tegangan 1 V, yaitu setelah proses elektroadsorpsi berlangsung selama 300 detik. Proses elektrodessorpsi terjadi setelah elektroadsorpsi sehingga diperoleh arus dasar sebesar -0,2440 mA pada tegangan -0,5 V selama 600 detik, sedangkan kapasitansi spesifik elektroda adalah 50,21 mF/g.

Luas permukaan aktif karbon yang digunakan sebagai elektroda CDI bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi kemampuan elektrosorpsi elektroda CDI. *Overlapping* EDL juga mempengaruhi kemampuan elektrosorpsi elektroda. Pada adsorpsi fisika tanpa adanya medan listrik luar, kemampuan adsorpsi hanya dipengaruhi oleh luas permukaan aktif. Semakin besar luas permukaan aktif karbon, maka semakin besar kemampuan adsorpsi. Ketika elektroda CDI diberikan medan listrik, luas permukaan aktif yang lebih besar menyebabkan pengaruh *overlapping* EDL menjadi lebih kuat sehingga ion-ion yang mengalami elektroadsorpsi pada EDL menjadi lebih sedikit. Hal ini menyebabkan kemampuan desalinasi menjadi menurun.

Grafik pada Gambar 7 merupakan penurunan konduktivitas larutan NaCl menggunakan empat keping elektroda karbon yang disusun paralel (dua sel CDI). Pada Gambar tersebut terlihat konduktivitas larutan menurun dengan bertambahnya waktu desalinasi hingga pros-

es elektrosorpsi mencapai jenuh. Penurunan konduktivitas listrik ini karena adanya proses adsorpsi ion-ion larutan NaCl pada permukaan elektroda. Ion-ion yang teradsorpsi ditahan pada permukaan elektroda. Ion-ion tersebut teradsorpsi pada pori-pori di permukaan elektroda ketika elektroda diberikan potensial. Ion Na^+ teradsorpsi pada permukaan elektroda negatif. Sedangkan ion Cl^- teradsorpsi pada permukaan elektroda positif.

Konduktivitas larutan NaCl menurun dari 179,6 μS menjadi 69 μS setelah proses desalinasi berlangsung selama 40 menit. Dari data tersebut diperoleh besar persentase penurunan konduktivitas larutan NaCl oleh sistem CDI adalah 61,58%. Setelah melewati waktu tertentu, konduktivitas larutan NaCl tidak lagi menurun karena proses elektrosorpsi sudah jenuh, dimana konduktivitas larutan kembali meningkat setelah proses elektrosorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa ion-ion NaCl yang diadsorpsi oleh elektroda dilepaskan kembali ke dalam larutan.

Selain karena ion-ion NaCl tidak bisa lagi diadsorpsi karena sudah mencapai titik jenuh, peningkatan konduktivitas larutan juga disebabkan karena adanya pengaruh *co-ion* yang lepas dari elektroda yang masuk ke dalam larutan NaCl karena elektroda diberikan potensial. Proses adsorpsi *counter ion* dan pelepasan *co-ion* terjadi secara simultan dalam volume pori elektroda yang menyebabkan penurunan kemampuan elektrosorpsi. Pengaruh *co-ion* tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan membran penukar ion. Sistem CDI pada pen-

elitian ini menggunakan lembaran *fiberglass* sebagai membran polimer dan separator elektroda yang tidak bisa mengurangi pengaruh *co-ion*.

Tabel 2 merupakan hasil pengukuran kadar natrium larutan NaCl 0,24 M menggunakan AAS, sebelum dan setelah dilakukan desalinasi. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa kadar natrium dalam larutan menurun dengan bertambahnya waktu desalinasi. Penurunan kadar natrium menunjukkan bahwa elektroda CDI mengadsorpsi ion natrium dari larutan ketika elektroda diberi potensial listrik. Ketika elektroda CDI tidak mampu lagi mengadsorpsi ion natrium dari larutan NaCl, maka ion natrium kembali dilepaskan ke dalam larutan yang ditunjukkan dengan kembali meningkatnya kadar natrium dalam larutan.

Tabel 2. Penurunan kadar natrium desalinasi larutan NaCl

No	Waktu desalinasi (menit)	Kadar natrium (mg/L)
1	0	138,000
2	10	117,000
3	20	106,667
4	30	103,000
5	40	80,667
6	50	92,333
7	60	104,667

Penurunan kadar natrium larutan NaCl pada Tabel 2 menunjukkan bahwa elektroda CDI yang dibuat dari tempurung kemiri bisa diaplikasikan untuk desalinasi. Kadar natrium menurun dari 138,000 mg/L menjadi 80,667 mg/L atau sebesar 58,45 % setelah proses desalinasi berlangsung selama 40 menit, kemudian kadar natrium kembali meningkat. Penurunan kadar natrium juga mengindikasikan bahwa kadar klorida juga menurun karena proses adsorpsi berlangsung pada permukaan elektroda positif dan elektroda negatif. Ion Na⁺ teradsorpsi pada permukaan elektroda negatif, sedangkan ion Cl⁻ teradsorpsi pada elektroda positif.

PENUTUP

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu aktivasi karbon, maka semakin besar luas permukaan aktif karbon yang dihasilkan. Karbon dengan luas permukaan aktif paling besar adalah kar-

bon dengan suhu aktivasi 600 °C, sebesar 391,576 m²/g. Elektroda yang dibuat sudah bersifat sebagai kapasitor dengan besar kapasitas spesifik elektroda adalah 50,21 mF/g. Besar penurunan konduktivitas larutan NaCl menggunakan dua sel CDI adalah 61,59%, ini berarti kadar ion-ion Na⁺ dan Cl⁻ berkurang cukup signifikan. Secara kuantitatif juga dapat dilihat adanya penurunan kadar natrium dari 138,000 mg/L menjadi 80,667 mg/L dengan proses desalinasi selama 40 menit. Berdasarkan persentase penurunan konduktivitas dan kadar natrium larutan NaCl disimpulkan bahwa tempurung kemiri sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan dasar elektroda kapasitor untuk desalinasi air payau.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA Universitas Andalas Tahun Anggaran 2014, sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian No: 14/UN.16/PL/DM/I/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Fellman, Batya A., (2010), Carbon-Based Electric Double Layer Capacitors for Water Desalination, *Tesis*, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Himmaty, Ikfina dan Endarko, (2013)), Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem *Capacitive Deionization* untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (NaCl), *Berkala Fisika*, No. 3, Vol. 16, hal. 67-74.
- Humplik, T., Lee, J., Hern, S.C.O., Fellman, B.A., Baig, M.A., Hassan, *et.al.*, (2011), Nanostructured Materials for Water Desalination, *Nanotechnology*, Vol. 22, IOP science, hal 1-19.
- Komarayati, S., Setiawan, D. dan Mahpudin, (2004), Beberapa Sifat dan Pemanfaatan Arang dari Serasah Kayu Pinus, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 22 No. 1, Bogor, hal. 17-22.
- Lempang, M., Syafii, W. dan Pari, G., (2009), Sifat dan Mutu Arang Aktif Tempurung Kemiri, *Jurnal Penelitian Hasi IHutan*, Vol. 30, No. 2, ISSN: 0216-4329, Balai Penelitian Kehutanan Makasar, hal. 100-113.
- Lim, J., Park, N., Park, J., Choi, J., (2009), Fabrication and Characterization of A Porous Carbon Electrode for Desalination of Brackish Water, *Desalination*, Vol. 238, Elsevier, hal. 37-42.
- Park, B., Kim, Y., Park, J., Choi, J., (2011), Capacitive Deionization Using A Carbon Electrode Prepared With Water-Soluble Poly (Vinyl Alcohol) Binder, *Journal Of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 17, Elsevier, hal

- 717-722.
- Purwanto, J., (2011), Arang dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeisguineensis jacq*), *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 29, No.1, Balai Riset dan Standardisasi Industri, Banjarbaru.
- Wang, G., Qian, B., Dong, Q., Yang, J., Zhao, Z., Qiu, J., (2013), Highly Mesoporous Activated Carbon Electrode for Capacitive Deionization, *Separation and Purification Technology*, Vol. 103, Elsevier, hal 216-221.
- Zou, Linda, (2011), Capacitive Deionisation As A Useful Tool For Inland Brackish Water Desalination, *World Congress/Perth Convention and Exhibition Centre (PCEC)*, Perth.