

Fabrikasi dan Karakterisasi Elektroda untuk Sistem *Capacitive Deionization*(CDI) pada Proses Desalinasi Larutan NaCl dengan Metode *Freezing-Thawing*

Iim Fatimah dan Endarko

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 60111
Email: iim_f@physics.its.ac.id

Diterima (2 Juli 2013), direvisi (16 Juli 2013)

Abstarct. An electrode has been made for capacitive deionization (CDI) technology during the process of desalination of NaCl solution using freezing-thawing method. The electrodes are made of a combination of coconut shell activated carbon, graphite and polyvinyl alcohol by varying the material composition and the number of cycles during the freezing-thawing process. Carbon electrode test results using cyclic voltametric method showed the peak of oxidation reduction in its voltamogram cyclic which is the peak of cathode current 0.6 mA on potential reduction of - 0.6 V therefore the electrode has a capacitance per unit area of 0,14 F/g. Electrode test results show that the greatest capacitance and the highest electrode porosity obtained on the composition of the activated carbon of coconut shell: polyvinyl alcohol (PVA): graphite is 18 : 1 : 6. In this research the system were arranged in a monopolar and bipolar to compare the efficiency of the reduction of the salt level. Based on the tests carried out, monopolar arranged structure shows 37% of salt levels reduction in five minutes while the bipolar arranged structure only able to reduce salt levels of about 20 % in five minutes. It showed that the monopolar arranged structure is able to give a better outcome.

Keywords: *hydrogel PVA, carbon, capacitive deionization, cyclic voltametri, desalination.*

Abstrak. Telah dibuat elektroda untuk teknologi *capacitive deionization* (CDI) pada proses desalinasi larutan NaCl dengan metode *freezing-thawing*. Elektroda yang dibuat merupakan kombinasi dari bahan karbon aktif tempurung kelapa, grafit dan *polyvinyl alcohol* dengan variasi komposisi bahan dan jumlah siklus dalam proses *freezing-thawing*. Hasil uji elektroda karbon dengan metode voltametri siklik menunjukkan puncak oksidasi reduksi pada voltamogram sikliknya yaitu puncak arus katoda 0,6 mA pada potensial reduksi - 0,6 V maka elektroda ini memiliki kapasitansi tiap satuan luasnya sebesar 0,14 F/g. Hasil pengujian elektroda menunjukkan bahwa kapasitansi terbesar dan porositas elektroda tertinggi diperoleh pada komposisi karbon aktif tempurung kelapa: *polyvinyl alcohol* (PVA) : grafit adalah 18 : 1 : 6. Pada penelitian ini sistem di rangkai secara monopolar dan bipolar, untuk membandingkan efisiensi pengurangan kadar garam. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, untuk struktur rangkaian secara monopolar pengurangan kadar garam yang diperoleh sebesar 37% dalam 5 menit sedangkan struktur rangkaian secara bipolar hanya mampu mengurangi kadar garam sebesar 20% dalam 5 menit hal ini menunjukkan bahwa struktur rangkaian secara monopolar mampu memberikan hasil yang lebih baik.

Kata kunci: *hidrogel PVA, karbon, capacitive deionization, voltametri siklik, desalinasi.*

PENDAHULUAN

Krisis air bersih banyak terjadi di beberapa daerah di Indonesia, menurunnya

*Corresponding author:

E-mail: iim_f@physics.its.ac.id

kualitas dan kuantitas air menunjukkan bahwa dibutuhkan suatu cara untuk meningkatkan persediaan air bersih. Salah satu sumber yang berpotensi dijadikan sumber air bersih adalah air laut. Air laut dapat dijadikan air bersih dengan proses desalinasi. Hal ini menyebabkan berbagai teknologi dikembangkan untuk menciptakan air laut menjadi air tawar dalam jumlah yang besar, seperti *electrodialysis*(ED), *reverse osmosis* (RO), *Multi-stage flash evaporation* (MSF), *vapor compression distillation* (VCD). Metode ini memiliki kelemahan, dibutuhkan energi yang signifikan dan biaya operasi yang tinggi (Anderson, dkk, 2010).

Salah satu teknologi alternatif yang akhir-akhir ini banyak dialiri arus untuk desalinasi air (Oren, 2007).Teknologi ini memanfaatkan prinsip dasar kapasitor untuk menghilangkan ion terlarut. Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif (Anderson, dkk, 2010). *Capasitive deionization* (CDI) dapat menghapus anion yang tidak teroksidasi dan kation yang tidak direduksi oleh air dengan menggunakan gaya elektrostatis (Lee, dkk, 2012).

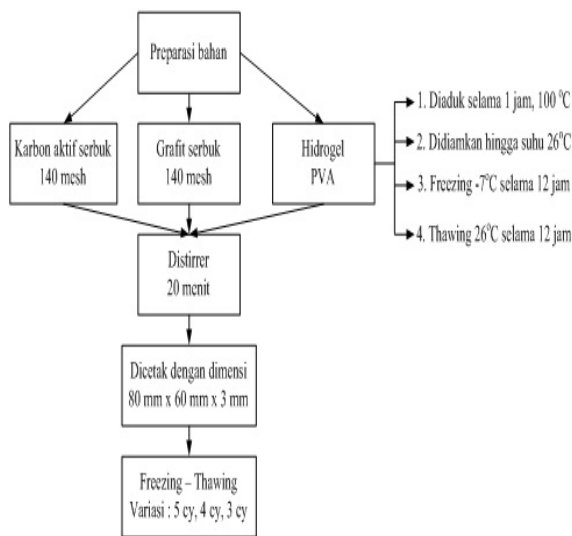
Dalam sistem *capasitive deionization* (CDI) ini karakteristik fisik dan kimia dari elektroda adalah salah satu faktor paling penting untuk meningkatkan kinerja CDI selain itu optimasi dari sistem juga penting untuk efisiensi desalinasi (Lee, dkk, 2012). Desalinasi dengan CDI akan efektif dan efisien jika elektroda yang digunakan mempunyai permukaan pori yang luas agar daya adsorpsi ion semakin besar (Johnson, 1971).Bahan elektroda yang ideal untuk *capasitive deionization* (CDI) adalah yang memiliki konduktivitas yang tinggi, luas permukaan spesifik (yaitu luas permukaan per unit berat) sebesar mungkin untuk penyerapan (Oren, 2007). Pembuatan elektroda yang saat ini dikembangkan

adalah menggunakan karbon aktif yang berukuran nano (Zhou, 2011). Karbon aktif paling sering digunakan sebagai elektroda pada sistem ini, karena memiliki daya serap yang baik.

Di Indonesia sudah banyak diproduksi karbon aktif dari tempurung kelapa, oleh karena itu akan dikembangkan dikembangkan adalah *capasitive deionization* (CDI). Studi awal tentang teknologi ini dimulai oleh Caudle et.al yang menggunakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang teknologi baru yaitu *capasitive deionization* (CDI) menggunakan elektroda dengan bahan karbon aktif tempurung kelapa untuk pemenuhan kebutuhan air bersih dengan sistem desalinasi. Untuk hal tersebut, penelitian ini mengusulkan fabrikasi dan karakterisasi elektroda perpaduan dari bahan karbon aktif tempurung kelapa, grafit dan *polyvinyl alcohol*(PVA) untuk teknologi *capasitive deionization* (CDI) pada proses desalinasi NaCl murni dengan metode *freezing-thawing*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini tahap pertama yang dilakukan adalah pembuatan elektroda, adapun tahapannya ditunjukkan oleh **Gambar 1**. Pada penelitian ini digunakan PVA (Mw = 60,000, degree of hydrolysis 98%, Merck Schuchardt, Germany) untuk larutan PVA yang dipreparasi dengan pemanasan air destilasi yang kemudian ditambahkan PVA hingga memiliki konsentrasi 2 wt%. Campuran ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* secara konstan selama 1 jam pada temperatur 100°C. Pembuatan elektroda dengan bahan utama karbon aktif dari tempurung kelapa (bentuk serbuk dengan ukuran 140 mesh).



Gambar 1. Tahapan pembuatan elektroda

Untuk campuran bahan elektroda menggunakan grafit (bentuk serbuk dengan ukuran 140 mesh) sebagai karbon konduktif dan hidrogel *polyninyl alcohol* (PVA) sebagai binder. Bahan-bahan ini dicampur menggunakan *stirrer* selama 20 menit untuk membuat campuran homogen. Kemudian dicetak dengan ukuran 80 x 60 x 3 mm³. Sebelum memasuki proses freezing-thawing, campuran didiamkan hingga suhunya mencapai temperatur ruang. Kemudian dibekukan pada suhu - 7°C selama 12 jam dan dicairkan pada temperatur ruang selama 12 jam. Proses gelas dilakukan menggunakan metode *freezing-thawing* dengan variasi 5 cycle, 4 cycle, 3 cycle (1 cycle= *freezing* selama 12 jam dan *thawing* selama 12 jam).

Elektroda yang sudah dibuat akan dilakukan pengujian kapasitansi dengan metode voltametri siklik dan porositas.

Untuk uji kapasitansi ini menggunakan metode voltametri siklik. Pengujian ini dilakukan menggunakan Autolab PGSTAT 302, Methrom. Kapasitansi diukur dalam larutan NaCl 0,5 M pada suhu 26°C oleh voltametri siklik, dilakukan pada potensial - 0,7 V sampai 0,7 V dengan tingkat scanrate 2 mV/s dan sebanyak 25 siklus.

Tabel 1. Komposisi bahan elektroda yang akan dibuat

Tipe	Karbon (g)	Grafit (g)	PVA (g)
I	21	3	1
II	18	6	1
III	15	9	1

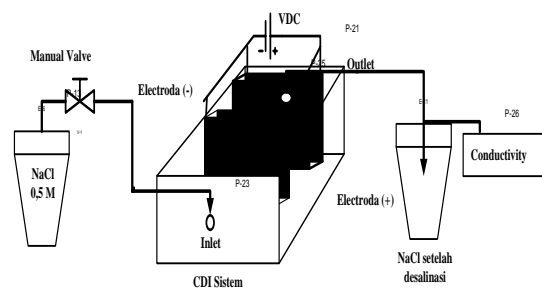
Adapun komposisi campuran elektroda dihitung dengan menggunakan perbandingan massa, dan disiapkan bahannya dengan variasi komposisi seperti yang terangkum dalam Tabel 1.

Elektrokimia dapat di evaluasi dengan cara voltametri siklik. Tegangan yang digunakan cukup rendah sekitar 1,2 – 1,5 Volt. Tanpa adanya kontribusi bahan lain maka kapasitansi dari sistem adalah (Anderson, dkk, 2010):

$$C = \int \frac{dq}{dV} = I \int \frac{dt}{dV} = \frac{I}{v} \quad (1)$$

- dengan : q = muatan (coulomb),
- V = beda potensial (volt),
- t = waktu (sekon),
- I = kuat arus (Ampere),
- v = laju penyapuan (V/s).

Pengujian dengan metode voltametri siklik ini dilakukan pada elektroda tipe II dengan lama proses *freezing-thawing* 4 siklus. Porositas merupakan pori yang terbentuk akibat udara yang terperangkap. Pori yang terbentuk dapat mempengaruhi performa plat elektroda.



Gambar 2. Susunan sistem desalinasi

Persentase porositas yang terbentuk dapat diketahui dengan melakukan pengujian sesuai Australian standard AS 1774.5. Prinsip dari pengujian ini adalah melihat perbedaan berat dari sampel kering dan sampel jenuh (setelah direndam).

Sistem desalinasi yang akan dibuat merupakan sistem dinamis, dan ditunjukkan **Gambar 2**.

Terdiri dari tanki untuk menampung NaCl 0,5 M (larutan yang akan diujikan), *manual valve* untuk mengontrol laju aliran, sel CDI yang terdiri dari 2 sel, dan tanki untuk menampung larutan hasil desalinasi.

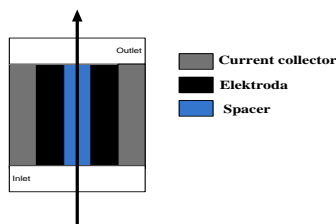
Sel CDI yang dibuat memiliki dimensi 80 x 60 x 3 mm³ dan terdiri dari 2 *current collector*, 2 elektroda karbon yang dibuat, dan 1 *spacer*. Adapun skematik dari sel CDI ditunjukkan pada **Gambar 3**.

NaCl 0,5 M yang sebelumnya sudah diukur konduktivitasnya (menggunakan AZ 86505 – PH/mV/Cond/TDS/Temp.meter) akan dilewatkan pada sistem dengan laju aliran ± 40 ml/menit kemudian NaCl keluaran dari sistem tersebut diukur lagi konduktivitasnya, daya serap dari sistem desalinasi, produk dari desalinasi dapat di hitung menggunakan persamaan *salt removal rate* (Park, dkk, 2007):

$$\text{Saltremoval}(\%) = \frac{G_f - G_p}{G_f} \times 100 \dots\dots(2)$$

dengan :

G_f = konduktivitas NaCl murni (ohm⁻¹),
 G_p = konduktivitas NaCl setelah desalinasi (ohm⁻¹).



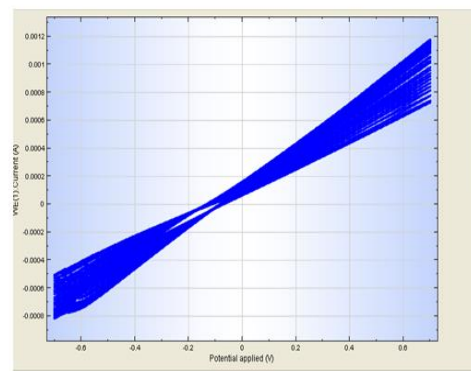
Gambar 3. Skematik sel CDI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dengan metode voltametri siklik ini dilakukan pada elektroda tipe II dengan lama proses *freezing-thawing* 4 siklus. Adapun hasil dari uji voltametri siklik ditunjukkan **Gambar 4**.

Hasil uji elektroda karbon dengan metode voltametri siklik menunjukkan puncak oksidasi reduksi pada voltamogram sikliknya yaitu puncak arus katoda 0,6 mA pada potensial reduksi - 0,6 V, dengan menggunakan Persamaan 1, maka diperoleh nilai kapasitan untuk elektroda tipe II 4 *cycle* 0,6 F dengan massa elektroda yang di ujikan 2,05 gram, maka elektroda ini memiliki kapasitansi tiap satuan luasnya sebesar 0,14 F/g.

Proses ini terjadi berdasarkan reaksi reduksi dan oksidasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur arus hasil reaksi elektrokimia kemudian memvisualisasikan profil arus fungsi tegangan dengan kurva voltamogram.



Gambar 4. Diagram voltametri siklik dengan *scanrate* 2 mV/s

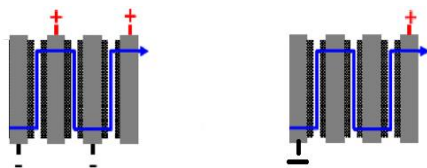
Tabel 2. Hasil pengukuran massa elektroda

Massa	Tipe I 4 cy	Tipe II 4 cy	Tipe III 4 cy
m_D (g)	9,9	8,6	11,7
m_i (g)	14,4	13,6	16
m_s (g)	15,3	14,2	16,9

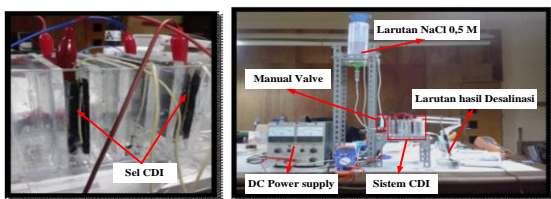
Uji porositas ini dilakukan pada tiga tipe dengan proses *freezing-thawing* seragam yaitu 4 cy dan diperoleh data seperti yang ditunjukkan **Tabel 2**. Diperoleh porositasnya adalah porositas tipe I 4 cy = 6%, porositas tipe II 4 cy = 9%, porositas tipe III 4 cy = 5% atau sebesar 5,33 – 9,6 cm²/g. Dari penelitian ini nilai porositas yang didapatkan masih relatif kecil bila dibandingkan dengan penelitian Porada dkk, yang mencapai 10 – 600 m²/g (Porada, dkk, 2013).

Dari sistem yang dibuat ini, dilakukan pengambilan data untuk dua variasi struktur rangkaian yaitu struktur monopolar dengan memberikan sumber tegangan yaitu 1,2 V dan struktur bipolar sebesar 1,5 V. Adapun struktur rangkaiannya seperti **Gambar 5**.

Pengujian desalinasi dilakukan menggunakan peralatan seperti pada **Gambar 6**, Larutan NaCl 0,5 M dialirkan dari tabung menuju ke sel CDI dengan laju aliran ± 40 ml/menit. Dengan tegangan rendah 1,2 – 1,5 V dan arus 0,32 – 0,38 mA maka pada sistem dibutuhkan daya sebesar 456 mV yang relatif kecil. Sebelum dilakukan proses desalinasi konduktivitas dan kadar garam diukur menggunakan AZ 86505 PH/mV/Cond/TDS/Temp.meter untuk mengetahui kondisi awal dari larutan NaCl.



Gambar 5. Struktur rangkaian (a) monopolar, (b) bipolar



Gambar 6. Sistem desalinasi

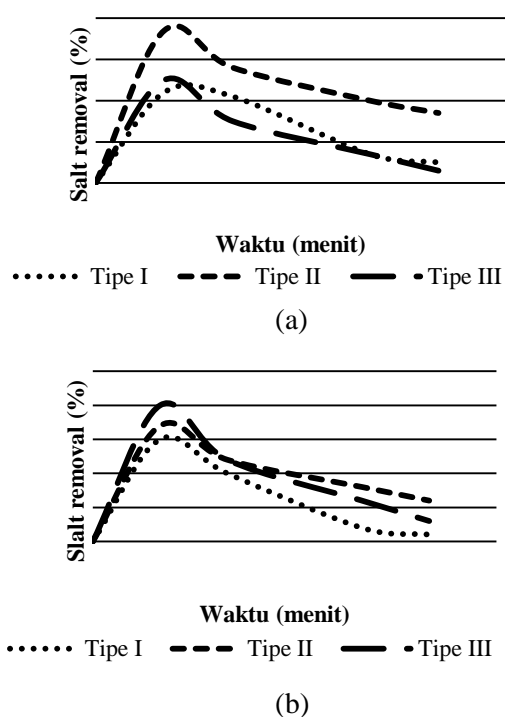
Sistem yang dibuat memiliki 2 unit sel (volume efektif dari setiap sel 80 x 60 x 3 mm³) untuk kinerja CDI, 2 sel ini didesain secara monopolar dan bipolar, pada struktur rangkaian monopolar plat kapasitor pada sistem CDI secara substansial memiliki tegangan yang sama dari depan sampai belakang. Sedangkan bipolar tegangan antar sel berbeda tidak terdistribusi merata, tetapi nilai energi yang diperlukan relatif sama. Untuk pengujian sistem desalinasi di pilih tiga macam elektroda yaitu tipe I, II, dan III untuk lama proses *freezing-thawing* seragam sebesar 4 *cycle*. Dalam setiap pengujian digunakan elektroda yang sejenis.

Pengujian desalinasi dilakukan dengan memakai 2 sel CDI, untuk monopolar penurunan konduktivitas larutan pada proses desalinasi pertama mencapai 14,4 mS sedangkan untuk yang bipolar penurunan konduktivitas larutan pada proses desalinasi pertama sebesar 7,9 mS. Pada rangkaian monopolar konduktivitas hasil desalinasi setelah melewati 2 sel terus menurun sampai 5 menit dari 39,5 mS menjadi 29,8 mS yang merupakan 24,5% dari nilai awal sedangkan pada rangkaian bipolar pada 5 menit pertama konduktivitas menurun dari 38,9 mS menjadi 31 mS yang merupakan 20% dari nilai awal, berdasarkan data yang diperoleh struktur rangkaian secara monopolar memberikan hasil yang lebih baik daripada struktur rangkaian secara bipolar.

Berdasarkan nilai konduktivitas larutan setelah proses desalinasi, maka dapat diketahui nilai dari pengurangan kadar garamnya seperti **Gambar 7**, untuk struktur monopolar mampu memberikan nilai pengurangan kadar garam untuk yang terbesar mencapai 37% dalam 5 menit pada elektroda tipe II, sedangkan untuk yang bipolar pengurangan kadar garam mencapai 20 % dalam 5 menit pada elektroda tipe III. Dari pengujian desalinasi yang dilakukan, elektroda yang dibuat dalam satu siklus

desalinasi memerlukan waktu ± 1 jam sedangkan kemampuan penyerapan ion juga mulai berkurang setelah desalinasi berlangsung ± 25 menit.

Untuk rangkaian monopolar digunakan sumber tegangan sebesar 1,2 V dengan arus sebesar 0,38 mA sedang untuk rangkaian bipolar digunakan sumber tegangan sebesar 1.5 V dengan arus sebesar 0,32 mA. Energi yang diperlukan pada kedua rangkaian berkisar 0,47 mW. Pada penelitian ini laju aliran dibuat seragam yaitu ± 40 ml/menit, sehingga tidak dapat menganalisa berdasarkan laju aliran. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Lee dkk yang menggunakan tegangan untuk rangkaian monopolar 1,2 V dan arus 0,15 A sedangkan untuk bipolar 6 V dengan arus 0,029 A kedua sistem ini membutuhkan daya yang sama yaitu 180 mW, dibandingkan dengan penelitian ini, daya yang digunakan dalam penelitian Lee dkk jauh lebih besar, tetapi mampu mengurangi kadar garam sampai 70 % (lee, dkk, 2012).



Gambar 7. Nilai salt removal (a) struktur monopolar, (b) struktur bipolar

Untuk rangkaian monopolar mampu mengurangi kadar garam sebesar 37% sedangkan rangkaian bipolar paling tinggi mampu mengurangi kadar garam sebesar 20%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur rangkaian sistem secara monopolar mampu memberikan hasil yang lebih baik dari struktur rangkaian secara bipolar, dilihat dari sisi konsumsi energi dan efisiensi pengurangan kadar garam.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, elektroda yang di buat diambil tiga tipe dengan banyak proses *freezing thawing* sama yaitu 4 cycle untuk pengujian sistem desalinasi. Dari ketiga tipe yang dibuat dilakukan pengujian kapasitansi, dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa elektroda bersifat kapasitif, dan nilai kapasitansi paling optimal didapatkan pada komposisi karbon aktif tempurung kelapa : *polyvinyl alcohol* (PVA): grafit = 18 : 1 : 6 (tipe II), dan hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan nilai porositas tertinggi terdapat pada elektroda tipe II dengan tingkat porositas 9% sedangkan porositas terendah terdapat pada elektroda tipe III dengan tingkat porositas 5%.

Hasil uji elektroda karbon dengan metode voltametri siklik menunjukkan puncak oksidasi reduksi pada voltamogram sikliknya yaitu puncak arus katoda 0,6 mA pada potensial reduksi - 0,6 V maka elektroda ini memiliki kapasitansi tiap satuan luasnya sebesar 0,14 F/g.

Rangkaian yang berbeda pada pengkutuban sistem CDI ini dilakukan untuk mengetahui konsumsi energi yang lebih rendah dan untuk mengetahui distribusi tegangan pada setiap sel serta efisiensi pengurangan kadar garam.

Rangkaian monopolar mampu memberikan nilai yang lebih baik dari pada bipolar karena pada rangkaian ini distribusi tegangan pada setiap sel nya adalah

seragam, sehingga lebih mudah untuk melakukan kontrol perbedaan potensial tiap sel CDI.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.A. Cudero, A.L. Palma, J. (2010), “Capacitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices: will it complete?”, *Electrochimica Acta*, No. 55, hal. 3845-3856
- Andrienko, D., (2008), ‘Chapter 1 Cyclic Voltametry’.
- Badan Litbang Pertanian, (2011), “Arang aktif meningkatkan kualitas lingkungan”, *Agroinovasi*, No.3400 Tahun XLI
- Bunch, J.S., (2008), ‘Mechanical and electrical properties of graphene sheets’, Dissertation PhD, Cornell University
- Gonzalez, J. S. dan V. A. Alvarez (2011). “The effect of the annealing on the poly(vinyl alcohol) obtained by freezing–thawing.” *Thermochimica Acta*, No. 521(1–2), hal 184-190
- Fauzi, R.D., (2011), ‘Materi kimia anorganik’, mylife-diechemie.blogspot.com
- Johnson, A.M. dan J. Newman, (1971), ‘Desalting by Means of Porous Carbon Electrodes’, *J. Electrochem. Soc.*,118(3) 510–517.
- Lee, J.K., Kim, .F., Kim, J., Chung, S., Ji, D., Lee, J.,(2012), ‘Comparable mono and bipolar connection of capacitive deionization stack in NaCl treatment’, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 763-766.
- Oren, Y. (2008), Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment — past, present and future (a review), *Desalination*, No. 228, hal. 10-29
- Park, K.K., Lee, J.B., Park, P.Y., Yoon, S.W., Moon, J.S., Eum, H.M., Lee, C.W.,(2007), ‘Development of a carbon sheet electrode for electrosorption desalination’, *Desalination*, 206, 86-91.
- Pierson, H., (1993), ‘Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes’, Consultant and Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico.
- Porada, S., Zhao, R., Van der Wal, Presser, Biesheuvel, P., (2013), ‘Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization’, *Progress in Material Science*.
- Pradhan, S., (2011), ‘Production and characterization of activated carbon produced from a suitable industrial sludge’, Project report, Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology Rourkela.
- Puranto, P., Imawan, C., (2010), ‘Pengembangan instrumen pengkarakterisasi sensor elektrokimia menggunakan metode voltametri siklik’, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* Vol 28.
- Putro, T., Hernawan, A.A., Susilo, E., Indarto, B., (2007), ‘Perancangan dan pembuatan alat pengukuran kadar air biji-bijian’, Seminar fisika dan aplikasinya.
- Sadeli, Y., Prihadmoko, B., (2011), ‘Pengaruh Variasi Ukuran Partikel 10% Carbon Black pada Pelat Bipolar PEMFC dengan Grafit EAF’, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* Vol 29.
- Standard, A., (2001), ‘The determination of density, porosity and water absorption’,

Iim Fatimah & Endarko: Fabrikasi dan Karakterisasi Elektroda untuk Sistem *Capasitive Deionization*(CDI) pada Proses Desalinasi Larutan NaCl dengan Metode *Freezing-Thawing*

Refractories and refractory materials physical test methods, AS 1774.5.

Stasko, J., Kalnins, M., Dzene, A., Tupureina, V., (2009), 'Poly(vinyl alcohol) hydrogels', Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 58, 1, 63-66.

Vrana N.E., (2009), 'Use of Polyvinyl Alcohol (PVA) Cryogelation for tissue Engineering: Composites, Scaffold Formation and Cell Encapsulation', Thesis PhD, Dublin City University, Ireland

Zou, L. (2011), "Developing nano-structured carbon electrodes for capasitive desalination", *Nanotechnology thought leaders series*, 2846