

Analisa Pengukuran Nilai Konduktivitas Larutan NaCl Selama Proses Adsorpsi dan Desorpsi pada Sistem Capacitive Deionization (CDI)

Nurul Fadilah dan Endarko

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 60111
Email: nurulfisika@gmail.com

Diterima (23 Agustus 2014), direvisi (20 September 2014)

Abstract. Capacitive deionization technology is one method of desalination that developed because of the low cost. The basic principle of CDI is based on the basic principle of a capacitor, the technology used electro adsorption/desorption without charge transfer in an electric double layer. When the saltwater passed through a pair of electrodes are electrically charged then the ions will be adsorbed into the electrical double layer region at the electrode-solution interface. This study was to measure the conductivity reduction of carbon electrodes with Polytetrafluoroethylene (PTFE) preparation as a binder on the desalination process of 0.1 M NaCl. The result showed that the CDI has been fabricated can be used to reduce the conductivity level of a sample solution around 0.08 mS/cm for a cell voltage of 1.5 V and flow rate at 10 mL/min.

Keywords. *capacitive deionization (CDI), desalination, carbon electrode, Polytetrafluoroethylene (PTFE) preparation*

Abstrak. Teknologi capacitive deionization (CDI) merupakan salah satu metode desalinasi yang dikembangkan karena biaya yang rendah. Prinsip kerja dari CDI adalah berdasarkan prinsip kerja kapasitor, teknologi ini menggunakan adsorpsi/desorpsi listrik tanpa perubahan muatan dalam pasangan elektrodanya. Ketika air dengan kandungan garam dialirkan diantara sepasang elektroda yang bermuatan maka elektroda akan mengadsorpsi ion-ion pada daerah antarmuka larutan dan elektrodanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pengurangan nilai konduktivitas elektroda karbon dengan binder *Polytetrafluoroethylene (PTFE) preparation* pada proses desalinasi 0.1 M NaCl. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem CDI yang dibuat mampu mengurangi nilai konduktivitas larutan sampel sebesar 0.08 mS/cm pada tegangan sumber 1.5 V dan laju air 10 mL/menit.

Kata kunci. *capacitive deionization (CDI), desalinasi, elektroda karbon, Poly tetra fluoro ethylene (PTFE) preparation.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap air tawar menyebabkan dunia teknologi menaruh perhatian besar dalam mengembangkan teknologi di bidang penyaringan air. Salah

satu sumber air yang bisa dimanfaatkan adalah air laut. Metode yang sudah berkembang dalam penyaringan air laut atau desalinasi diantaranya adalah *ion exchange*, *reverse osmosis*, elektrodialisis dan *capacitive deionization* (Broseus et al,

2009). *Capacitive deionization* (CDI) dikembangkan karena teknologi ini ramah lingkungan (Cj. Gabelich, 2002) serta membutuhkan daya yang rendah dalam operasionalnya (Oren, 2007) dibandingkan dengan metode desalinasi lainnya. Salah satu fokus dalam riset CDI yakni peningkatan efisiensi CDI. salah satu parameter dalam peningkatan efisiensi CDI adalah material elektroda yang digunakan (Oren, 2008).

Menurut Porada (2013) elektroda karbon harus memenuhi syarat antara lain: bersifat hidrofilik dan ukuran pori-pori memungkinkan ion bergerak keluar dan masuk. Cukup atau tidaknya ukuran pori-pori agar dapat diakses oleh ion Na^+ dan Cl^- dapat diukur dengan menggunakan beberapa metode salah satunya dengan menggunakan pengujian SEM EDX. Pada prinsip kerja kapasitor, semakin besar nilai kapasitansi maka akan semakin besar kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan, sehingga jika hal ini diaplikasikan pada sistem CDI, semakin besar nilai kapasitansi dari elektroda karbon maka akan semakin besarkemampuan dari sistem CDI dalam mengurangi kadar konduktivitas. Besar kecilnya nilai kapasitansi dari elektroda karbon dapat dihitung dengan menggunakan pengujian *cyclic voltametry* (CV).

K-K Park, et al (2006) meneliti tentang optimasi dari komposisi elektroda karbon yakni karbon aktif, karbon black dan PTFE dengan perbandingan 84: 12: 4, sedangkan choonso Kim (2013) menggunakan komposisi 86 : 8 : 8. Pada penelitian awal dan dengan menggunakan binder PTFE *Preparation*, elektroda karbon hasil fabrikasi dengan komposisi kedua memiliki penampakan fisik yang lebih kokoh jika dibandingkan dengan komposisi kedua. Kelemahan elektroda karbon ini yakni binder dari elektroda karbon bersifat hidrofobik, benang-benang PTFE yang terbentuk menutupi pori-pori elektroda

karbon. (K-K Park, 2007). Penggunaan binder PTFE *preparation* dimaksudkan agar mengurangi sifat *hidrofobik* dari PTFE mengingat binder ini telah terlarut dalam air dengan komposisi PTFE : H_2O adalah 60 : 40

METODE PENELITIAN

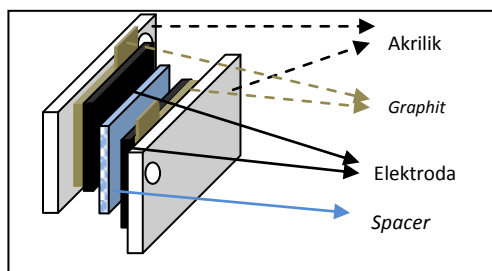
Penelitian ini diselesaikan dengan tiga tahapan. Tahap pertama yaitu pembuatan elektroda, kedua pengujian elektroda, ketiga pengukuran nilai adsorbs (desalinasi) dan desorpsi (regenerasi) pada sistem CDI

Perbandingan komposisi karbon aktif : karbon black : PTFE *preparation* adalah sekitar 84 : 8 : 8 merupakan pendekatan dari komposisi yang diajukan oleh C Kim et al (2011) yakni sekitar 86 : 8 : 8, perbandingan ini merupakan perbandingan dengan fraksi berat. Berat total setiap elektroda karbon yang telah dibuat adalah 2 gram. Karbon aktif dan karbon black distirer dalam bentuk powder selama 30 menit dengan kecepatan rendah agar terjadi campuran yang homogen. PTFE *preparation* dilarutkan dalam aquades selama 30 menit. Kemudian campuran karbon aktif dan karbon black dimasukkan ke dalam larutan PTFE *preparation* sedikit demi sedikit lalu distirer pada suhu ruang selama 30 menit hingga berbentuk encer. Adonan elektroda karbon yang telah encer kemudian dilapiskan pada kolektor arus yakni *graphit sheet* dengan metode *doctor blade*. Penggunaan *graphit sheet* bertujuan untuk menghindari korosi. Elektroda karbon yang masih basah dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 1(satu) jam untuk menghilangkan kandungan airnya (H_2O). Elektroda karbon yang telah kering dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 260°C selama 2 (dua) jam

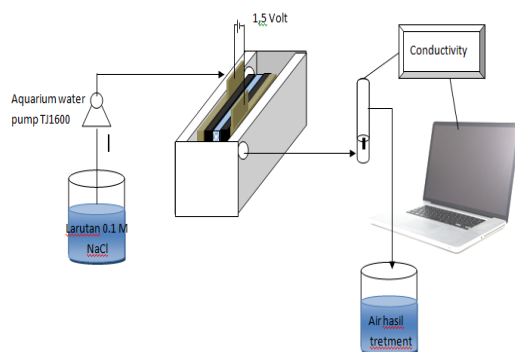
Pengujian elektroda karbon dengan metode *cyclic voltametry* menggunakan alat

Autolab PG-Stat 302 Methrom. SEM EDX menggunakan alat Merk FEI tipe Inspect S25. Sedangkan mengukur pengurangan konduktivitas diukur menggunakan alat ukur tipe Benchtop pH/ORP/Conductivity/TDS/Salinity Meter 86505

Bagian-bagian dari sistem CDI serta fungsinya antara lain : Akrilik berfungsi sebagai batas agar aliran larutan NaCl berjalan pada kanal tanpa ada kebocoran. Graphit sheet berfungsi sebagai kolektor arus, menerima dan menyalurkan arus ke elektroda karbon. Elektroda karbon berfungsi untuk mengadsorpsi dan desorpsi ion-ion Na^+ dan Cl^- pada larutan NaCl ketika terjadi proses desalinasi, Spacer terbuat dari nylon berfungsi agar tidak terjadi hubungan pendek antara katoda dan anoda.



Gambar 1. Perancangan satu cell



Gambar 2. Sistem CDI

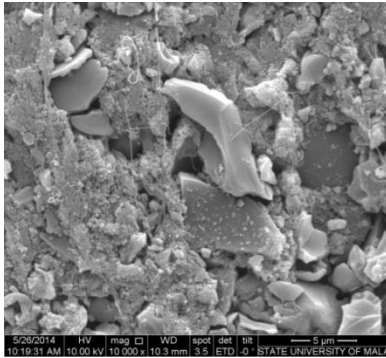
Sistem *capacitive deionization* ini dirancang dengan menggunakan 5 pasang elektroda. Larutan NaCl 0,1 M dialirkan dari dengan laju 10 ml/menit. Sel CDI terdiri dari 5 pasang elektroda yang dihubungkan secara paralel dengan jarak antara elektroda negatif dan positif setebal spacer yakni 1 mm. CDI diberi beda potensial sebesar 1,5 Volt.

HASIL DAN PEMBAHASAN

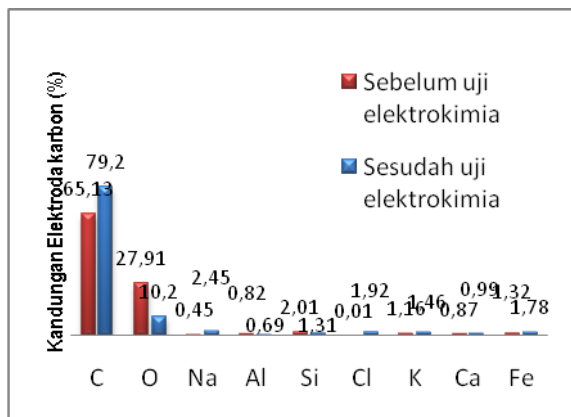
Pada **Gambar 3** tampak benang-benang PTFE. Menurut Park (2007) semakin banyak penambahan PTFE pada elektroda karbon maka semakin banyak benang yang akan menutupi pori-pori dari elektroda karbon itu sendiri. Hal ini akan mempersulit gerakan dari ion Na^+ dan Cl^- pada larutan garam NaCl masuk dan mengisi pori-pori dari elektroda karbon.

Pengujian SEM EDX pada sampel sebelum dan sesudah mengalami pengujian elektrokimia pada **Gambar 4**. dengan larutan elektrolit berupa NaCl, memperoleh hasil bahwa kandungan Na dan Cl meningkat antara lain dari 0.45% menjadi 2.45%, dan 0.01% menjadi 1.92 % secara berurutan. Seperti tampak pada Gambar 4.

Kadar Na dan Cl meningkat namun peningkatan tidak begitu besar, karena pori-pori pada elektroda karbon kurang mampu menahan ion Na^+ dan Cl^- . Menurut Porada (2013) pori-pori yang dibutuhkan oleh ion Na^+ dan Cl^- adalah pori-pori yang memungkinkan ion bergerak keluar dan masuk secara mudah. Ukuran ion Na pada larutan 3.58 Å (Amstrong) sedangkan untuk Cl pada larutan yakni 3.31 Å.



Gambar 3. Morfologi elektroda karbon PTFE pada pembesaran 10.000 kali



Gambar 4. Susunan komposisi elektroda karbon PTFE sebelum dan setelah uji elektrokimia

Pada grafik voltamogram dapat diamati proses adsorpsi dan desorpsi. Pada grafik voltammogram, pola kenaikan arus menunjukkan perpindahan elektron dari elektroda menuju larutan elektrolit membentuk reaksi redoks yang melibatkan perpindahan ion-ion elektrolit berdasarkan perubahan potensial yang diberikan pada sel elektrokimia, sehingga pola kenaikan arus ini menunjukkan peningkatan kapasitas penyerapan ion dan kecepatan penyerapan ion padapotensial yang disediakan.

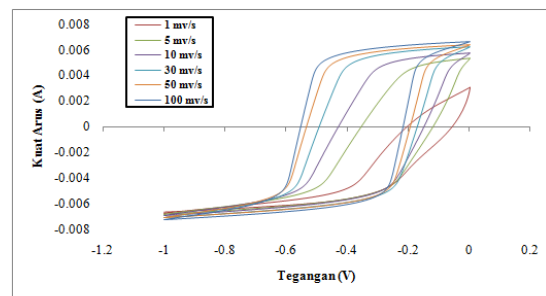
Pada uji *cyclic voltametri* ini dilakukan dengan scan rate antara 1 mv/s hingga 100 mv/s. Range tegangan antara -1 volt hingga 0 volt dengan siklus yang kedua seperti

pada **Gambar 5**. Semakin besar nilai *scan rate* maka akan semakin besar kemampuan elektroda karbon dalam menyerap ion. Arus puncak elektroda karbon mencapai 6.6 mA. Artinya pada arus 6.6 mA tidak terjadi reaksi redoks.

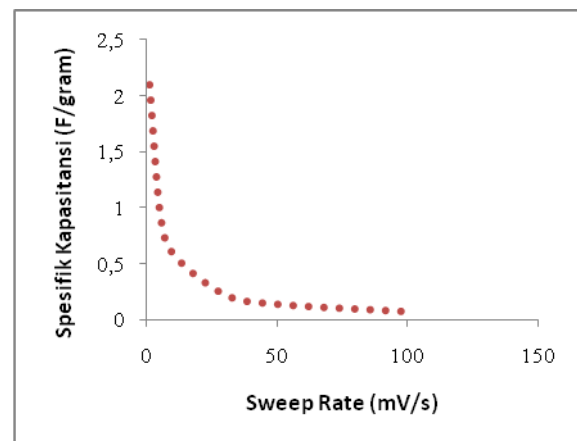
Pada hasil CV pada sweep rate 1 - 100 mV/s dapat dihitung nilai spesifik kapasitansi dari elektroda karbon dengan menggunakan Persamaan (1) (H. Li et al, 2010)

$$C = \frac{(q_a + |q_c|)}{m_c \Delta v_d} \quad (1)$$

sehingga diperoleh grafik seperti pada **Gambar 6** terlihat bahwa spesifik kapasitansi memiliki nilai paling besar pada *sweep rate* rendah yakni pada 1 mV/s. Pada *sweep rate* 1 mV/s besar spesifik kapasitansi yakni 2.1 F/gram.



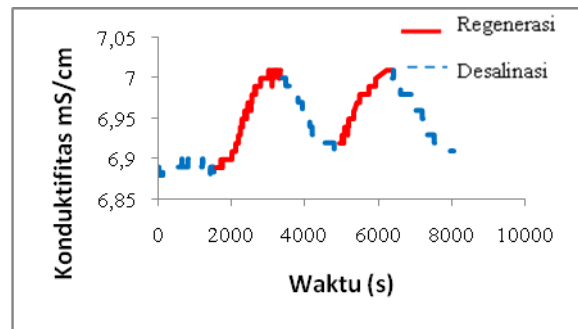
Gambar 5. Hasil CV dari elektroda karbon PTFE



Gambar 6. Nilai kapasitansi elektroda karbon

Uji CV menunjukkan besar nilai kapasitansi pada elektroda karbon dengan menggunakan tiga elektroda. Elektroda referensi, elektroda bantu dan elektroda kerja. Nilai kapasitansi yang terukur merupakan nilai kapasitansi yang dikenal dengan sebutan *adsorption pseudocapacitansi* C_ϕ atau bukan nilai kapasitansi murni (E. Gileadi, 2011). Untuk mendapatkan besar nilai kapasitansi yang sebenarnya maka kedua elektroda dirangkai hingga membentuk kapasitor. Gambar 10 menunjukkan proses adsorpsi dan deadsorpsi. Pengambilan data terjadi secara *online* setiap 1 detik. Tegangan 1.5 Volt diberikan oleh *power supply* untuk kolektor arus, larutan 0.1 M NaCl dialirkan oleh pompa menuju cell CDI. air hasil desalinasi dilewatkan pada probe sensor yang dimiliki oleh konduktifmeter. Cell CDI diberi tegangan selama 30 menit untuk adsorpsi dan 30 menit untuk deabsorpsi, hal tersebut berulang hingga 2.5 jam atau 9000 detik.

Pengurangan nilai konduktivitas pada larutan NaCl sebanding dengan kemampuan elektroda karbon dalam mengurangi kadar garam. Ketika elektroda karbon dirangkai menjadi satu system CDI dapat diamati perbedaan pengurangan nilai konduktivitas yakni 0.08 mS/cm. Proses desalinasi dan Regenerasi terjadi setiap 30 menit seperti **Gambar 7**, dalam hal ini elektroda karbon belum mengalami saturation atau kemampuan menyimpan secara maksimal penuh. Setiap perubahan kadar terjadi sekitar 6.25 menit untuk elektroda karbon. Cepat dan lambatnya perubahan kadar disebabkan jenis binder yang dipakai. Polimer PTFE bersifat hidrofobik.



Gambar 7. Proses desalinasi dan regenerasi pada sistem CDI

KESIMPULAN

Penurunan nilai konduktivitas pada sistem CDI dengan menggunakan larutan 0.1 M NaCl sebagai air sampel sebesar 0.08 mS/cm. Hal ini sesuai dengan hasil kapasitansi yang terukur dari uji CV yakni sebesar 2.1 F/gram. Hasil dalam penelitian ini sesuai dengan apa yang disampaikan oleh Porada (2013) bahwa semakin hidrofobik elektroda karbon, semakin kecil nilai kapasitansi. Binder PTFE *preparation* meskipun telah terlarut pada air, namun sifat hidrofobiknya masih ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Berliana S. R, Liani, Golbert S, Maysaroh siti, N. T. Jelita (2012) *Arang Aktif*, <http://www.sharemyeyes.com/2013/06/arang-aktif.html>
- Biesheuvel PM, Zhao R, Porada S, van der Wal A.(2011), *Theory of membrane capacitive deionization including the effect of the electrode pore space*. J Colloid Interface Sci. 360:239–48.

- Broseus, R., Cigana, J., Barbeau, B., Martines, C.D. & Suty, H. (2006), *Removal of Total Dissolved solids, Nitrates and Ammonium Ions from Drinking Water Using Charge-Barrier Capacitive Deionisation*, Desalination, 249, 217-223.
- Choonsoo Kim, Jaehan Lee, Seoni Kim, Jeyong Yoon, (2013), *TiO₂ sol-gel spray method for carbon electrode fabrication to enhance desalination efficiency of capacitive deionization*, Desalinasi 326.
- Davis, S.N. & Wiest, R.J.M. (1996), *Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Dietz, Steven (2004), "Improved Electrodes for Capacitive Deionization", *Proceedings of the 2004 NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference, Birmingham, AL, January*.
- Ellys. K.P., Endarko, Melania S. M. (2014). *Optimasi Adsorpsi ion-ion NaCl pada elektroda capacitive deionization dengan membran pertukaran ion*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya (JFA), Vol. 10, No. 1, Hal. 44 – 48. ISSN: 1858-036X, Jurusan Fisika, FMIPA-ITS. Surabaya
- E. Gileadi (2011). *Physical Electrochemistry*. Wiley VCH
- Fatimah Z (2003) *Penyulingan, pemrosesan dan penggunaan minyak bumi*. Jurusan kimia, FMIPA. Universitas Sumatra Utara.
- J.C. Farmer, D.V. Fix, G.V. Mack, R.W. Pekala, J.F. Poco, (1996), *Capacitive deionization of NaCl and NaNO₃ solutions with carbon aerogel electrodes*, J. Electrochem. Soc. 143 . 59–169.
- Lee, J.B., Park, K.K., Yoon, S. W., Park, P.Y., Park, K.I., Lee, C.W. (2007), *Desalination performance a carbon-based composite electrode*, Desalination, 237, 155-161.
- Lindayanti (2006), *Teknologi Pembuatan Arang Tempurung Kelapa*. Liptan Agdex:161/78 No. 01/BPTP Jambi/2006.
- Li Haibo, Zou L, Pan L, Sun Z (2010). *Using grapheme nano-flakes as electrodes to remove ferric ion by capacitive deionization*. Separation and purification technology. 75. 8-14
- Lund, H. & Hammerich, O. 2001. *Organic electrochemistry*. Fourth Edition, Revised and Expanded, New York: Marcel Dekker, Inc.
- Nadakatti. S., Tendulkar. M., Kadam. M. (2011) *Use of mesoporous conductive carbon black to enhance performance of activated carbon electrodes in capacitive deionization technology*, Desalination, 268, 182-188.
- Oren, Y. (2008), *Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review)*, Desalination, 228, 10–29.
- Park B.H, Kim Yu-Jin, Park Jin-Soo, Choi J (2011) *Capacitive deionization using a carbon electrode prepared with water-soluble poly(vinyl alcohol) binder*. Journal of industrial and engineering chemistry. 17. 717-722
- 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.
- Pejman Hojati- Talemi, Linda Zou, Manrico. F, Robert . S, (2013), *Using*

- oxygen plasma treatment to improve the performance of electrodes for capacitive water deionization*, *Electrochimica Acta*. 106. 494-499
- Porada, R. Zhao, A. van der Wall, V. Presser, P.M. Biesheuvel, (2013), *Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization*. *Progress in materials science*.
- Riyanto, Ph. D. (2012) *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha ilmu. Yogyakarta
- Ross, S. D., Finkelstein, M.& Rudd, E.F. 1975. *Anodic oxidation*. New York: Academic Press
- S.J. Seo, H. Jeon, J.K. Lee, G.Y. Kim, D. Park, H. Nojima, J. Lee, S.H. Moon. (2010), *Investigation on removal of hardness ions by capacitive deionization (CDI) for water softening applications*, *Environ. Sci. Technol.* 44. 2267–2275.
- Sembiring, M.T. (2003), *Arang Aktif (Pengenal dan Proses Pembuatannya)*, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Yamin, Sofyan, and Heri Kurniawan. (2009). *PSS complete: Teknik analisis statistik terlengkap dengan Software SPSS*. Salemba Infotek. Jakarta