

Optimasi Adsorpsi ion-ion NaCl pada Elektroda *Capacitive Deionization* dengan Membran Pertukaran Ion

Ellys Kumala Pramartaningthyas, Endarko,* dan Melania Suweni Muntini
Jurusan Fisika, FMIPA-Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Intisari

Salah satu sumber daya air yang belum dimanfaatkan sebagai sumber air minum secara maksimal adalah air laut. Pada artikel ini, dilaporkan hasil penelitian tentang pembuatan sistem elektroda *Capacitive Deionization* (CDI) dengan metode *crosslinking* dari perpaduan bahan karbon aktif tempurung kelapa, *crosslinker* glutaric acid dan polimer polyvinyl alcohol. Optimasi sistem desalinasi dilakukan dengan memvariasi potensial sumber listrik, dan penambahan membran untuk pertukaran ion. Pengujian sistem dilakukan dengan uji konduktivitas pada air yang dihasilkan pada proses desalinasi. Perubahan konduktivitas larutan ini menunjukkan perubahan adsorpsi ion-ion NaCl pada elektroda sistem CDI.

ABSTRACT

Sea water is one of the water resources that has not fully utilized for drinking water. In this paper, the electrodes of Capacitive Deionization (CDI) were synthesized by crosslinking method. The electrodes were synthesized with an activated carbon from coconut shell, glutaric acid and polyvinyl alcohol as a binder. Furthermore, optimization of desalination system is done by variation of voltage source (V) and the addition of ion exchange membrane. The system was tested by conductivity measurement of water before and after desalination process. Resulted conductivity level from measurement showed that the process of NaCl adsorption is occurred on the electrodes.

KATA KUNCI: NaCl, CDI, crosslinking, conductivity

I. PENDAHULUAN

Air adalah senyawa terpenting bagi semua kehidupan di Bumi. Saat ini kekurangan air bersih merupakan salah satu masalah bagi umat manusia di abad 21. Dua per tiga dari populasi dunia akan menghadapi kelangkaan air pada tahun 2025 [1]. Di lain pihak, air laut yang menutupi 71% permukaan bumi belum dimanfaatkan secara maksimal untuk pemenuhan kebutuhan air penduduk di dunia. Sehingga teknologi desalinasi sangat dibutuhkan untuk menghasilkan air tawar dari air laut dan air payau yang layak dikonsumsi oleh manusia.

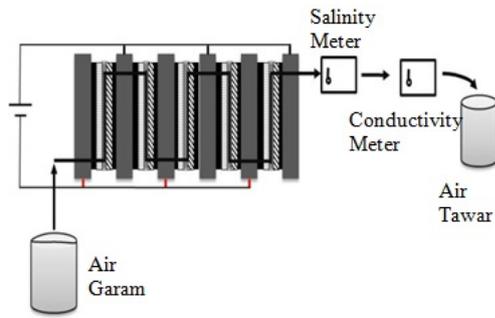
Capacitive Deionization (CDI) merupakan salah satu alternatif teknologi desalinasi yang efisien yang memisahkan ion-ion NaCl dari air laut. Sel CDI terdiri dari dua elektroda berpori yang dihubungkan dengan sumber potensial. Elektroda ini terbuat dari serbuk karbon aktif yang dicampur dengan *binder* [2]. Proses desalinasi dilakukan dengan mengalirkan larutan garam diantara dua elektroda berpori. Potensial listrik kemudian diberikan pada sistem CDI, ion-ion akan tertarik secara elektrostatis dan terabsorb ke dalam permukaan

elektroda yang bermuatan [3]. Ketika potensial listrik dihilangkan maka ion-ion yang terabsorb akan terlepas kembali menuju ke aliran larutan garam. Sistem CDI bekerja pada potensial yang relatif kecil sehingga sistem desalinasi ini termasuk salah satu sistem yang hemat energi dan ramah lingkungan [4].

Elektroda berpori pada sistem CDI dibuat dengan karbon aktif yang dicampur menggunakan binder berupa polimer. Penggunaan polimer yang hidropobik akan mengurangi penyerapan ion pada elektroda karena polimer hidropobik akan mengurangi tingkat kebasahan pada permukaan elektroda dan mengurangi kontak antara larutan garam dan elektroda [5]. Untuk itu perlu digunakan polimer yang larut dalam air seperti *polivinil alkohol* (PVA) sebagai binder elektroda CDI untuk meningkatkan tingkat kebasahan antara larutan dan permukaan elektroda karbon.

Untuk semua teknologi desalinasi, sangat penting untuk memaksimalkan kinerja desalinasi, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Zhao *et al.* pada tahun 2013 bahwa penambahan membran pertukaran ion di antara kedua elektroda meningkatkan kinerja CDI secara signifikan [6]. *Membran Capacitive Deionisasi* (MCDI) bekerja berdasarkan prinsip kerja yang sama dengan CDI konvensional, namun dengan adanya membran pertukaran ion ini akan meningkatkan absorpsi ion-ion NaCl pada sistem CDI karena membran dapat

*E-MAIL: endarko@physics.its.ac.id



Gambar 1: Sistem CDI.

menghalangi co-ion kembali menuju larutan [7].

Pada penelitian ini, telah dibuat sistem CDI perpaduan dari bahan karbon aktif tempurung kelapa, glutaric acid dan PVA yang dibuat dengan metode *crosslinking* serta dilakukan optimasi penyerapan ion NaCl menggunakan membran pertukaran ion.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Material

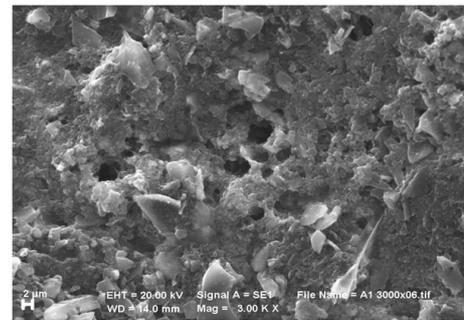
Karbon aktif dengan ukuran 140 μm yang dibuat dari tempurung kelapa yang dipanaskan dengan temperatur 100°C selama 24 jam, PVA (Merck Jerman) dengan berat molekul 60000, asam glutarik sebagai *crosslinking* agent (Sigma Aldrich Co.), aquades untuk pelarut PVA, logam aluminium (Hangzhou Iontech Environmental Technology Co., Ltd) sebagai kolektor arus dan membran pertukaran ion sebagai separator ion-ion NaCl.

Fabrikasi elektroda karbon

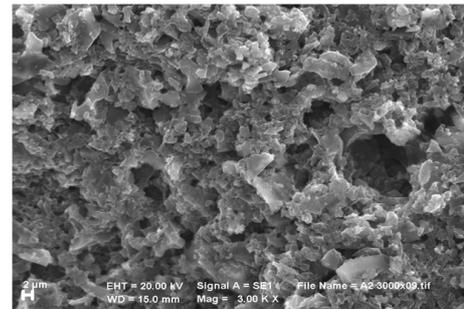
Pembuatan elektroda karbon dilakukan dengan membuat larutan binder 1 gr PVA dengan 50 ml. 20 gr karbon kemudian ditambahkan pada larutan binder dan distirer selama 30 menit. 0,5 gr glutaric acid ditambahkan pada campuran dan diaduk selama 4 jam agar campuran menjadi homogen. Campuran tersebut kemudian dicetak dengan ukuran 8 cm \times 6 cm \times 0,3 cm. Setelah kering dan memadat, elektroda kemudian dipanaskan selama 1 jam pada temperatur 100°C.

Pengujian elektroda

Pengujian elektroda dilakukan beberapa tahap antara lain pengujian struktur permukaan dan ikatan pada elektroda karbon. Pengujian ini menggunakan SEM untuk menentukan struktur fisik dari elektroda yang digunakan. Untuk mengamati perilaku dan sifat elektrokimia pada elektroda karbon digunakan voltametri siklik dan *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS). Pengujian voltametri siklik ini menggunakan larutan elektrolit 0,5 M KCl. Pengukuran elektroda pada CV dilakukan pada rentang potensial -0,5 V sampai 0,5 V (vs Ag/AgCl) pada kecepatan potesial sapuan 5 mV/s. Pada pengukuran menggunakan EIS dilakukan pada potensial 0,0 V



(a)



(b)

Gambar 2: Pengujian SEM pada elektroda karbon (a) 0,1 gr, (b) 0,5 gr glutaric acid.

TABEL I: Variasi eksperimen.

No	Parameter	Variasi
1	potensial (Volt)	1,2 1,4 1,5 1,6 1,8
2	laju aliran (mL/menit)	5 10 15 20 25

dengan rentang frekuensi 100 Hz - 20 mHz, dan didapatkan nilai kapasitas spesifik serta nilai resistansi elektroda.

Eksperimen desalinasi

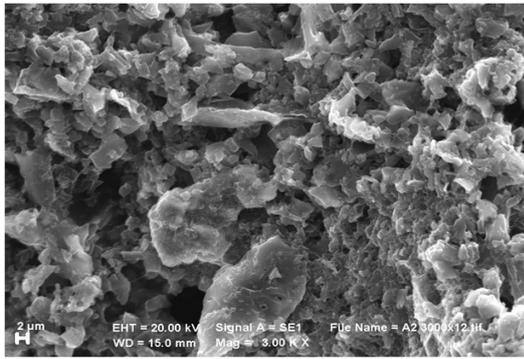
Untuk mengevaluasi kemampuan elektroda dalam penyerapan ion-ion NaCl pada larutan garam, elektroda karbon dibentuk dalam sistem CDI yang terdiri dari 5 pasang elektroda karbon yang disusun secara parallel (Gambar 1). Eksperimen dilakukan dengan variasi seperti pada Tabel I.

Eksperimen dilakukan dengan variasi tanpa membran dan dengan menggunakan membran penukar ion. Dari variasi-variasi yang dilakukan pada sistem CDI dapat diperoleh hasil desalinasi dengan pengurangan kadar garam maksimum serta parameter-parameter yang berpengaruh terhadap pengurangan kadar garam yang terjadi.

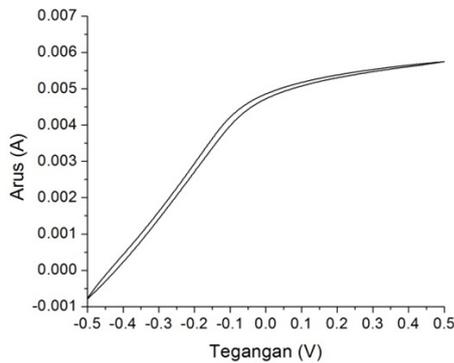
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian morfologi elektroda karbon

Morfologi permukaan elektroda karbon dengan binder PVA dipengaruhi oleh konsentrasi crosslinker dan temperatur pembentukan ikatan *crosslinking*. Gambar 2 menunjukkan struk-



Gambar 3: Pengujian SEM pada elektroda karbon.



Gambar 4: Hasil voltametri siklik.

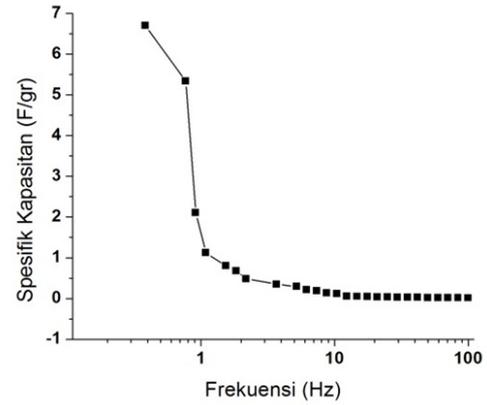
tur permukaan elektroda karbon dengan komposisi glutaric acid 0,1 dan 0,5 gr. Seperti yang dilaporkan oleh Park (2011), pada elektroda dengan 0,1 gr glutaric acid, ikatan PVA dan GA tersebar membentuk jaringan. Sementara pada elektroda dengan 0,5 gr GA berbentuk partikel diskrit [5].

Gambar 3 menunjukkan struktur permukaan elektroda karbon pada sisi lain. Elektroda karbon yang telah dibuat dengan temperatur pembentukan ikatan *crosslinking* 120°C ini memiliki banyak pori. Hal ini terlihat dari perbedaan warna antara partikel karbon dan lubang-lubang yang terlihat diantara partikel karbon.

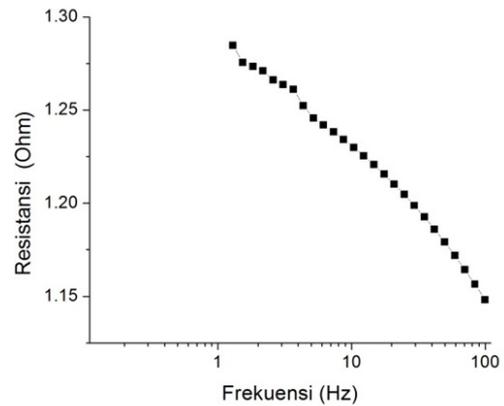
Ikatan *crosslinking* antara GA dan PVA menghasilkan padatan yang tidak dapat larut dalam air. Pada penambahan *crosslinker* (GA) dengan konsentrasi kecil akan menyebabkan ikatan PVA-GA terbentuk seperti membran/jaringan sementara semakin banyak *crosslinker* yang ditambahkan maka struktur ikatan akan semakin kompak. Sedangkan pengaruh temperatur pemanas pada proses pembentukan *crosslinking* menunjukkan pada temperatur 120°C pori-pori telah banyak terbentuk pada elektroda karbon.

Pengujian voltametri siklik dan EIS

Evaluasi sifat-sifat elektrokimia pada elektroda dilakukan uji voltametri siklik. Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian voltametri siklik pada elektroda karbon.



(a)

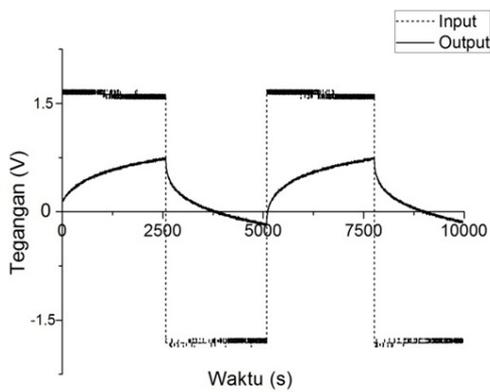


(b)

Gambar 5: (a) Kapasitansi spesifik, (b) resistansi elektroda.

Pengukuran pada voltametri siklik dilakukan dengan memberikan potensial pada sistem elektrokimia, dari potensial 0,5 V menuju -0,5 V kemudian kembali menuju potensial 0,5 V dengan kecepatan sapuan potensial 5 mV/menit. Adanya potensial yang diterapkan pada elektroda, akan memberikan energi listrik pada muatan ion-ion pada larutan elektrolit untuk bergerak menuju elektroda. Muatan-muatan yang terabsorb ini dideteksi sebagai arus pada voltamogram. Berdasarkan Gambar 4 terlihat arus maksimum saat proses absorpsi mencapai 5,75 mA dan pada proses desorpsi terlihat arus mencapai titik nol. Hal ini menunjukkan muatan terlepas seluruhnya ketika proses desorpsi dilakukan. Hasil pengujian voltametri siklik ini dapat dianalisis nilai kapasitansi spesifik dan resistansi pengisian muatan elektroda dengan menggunakan EIS seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5(a) menunjukkan spesifik kapasitan menurun dengan peningkatan frekuensi, hal ini sesuai dengan persamaan impedansi kapasitan yang menyatakan kapasitansi berbanding terbalik dengan nilai frekuensi angular. Sedangkan Gambar 5(b) menunjukkan resistansi pengisian muatan pada elektroda terlihat pada kurva resistansi yang dimiliki elektroda cukup kecil yaitu 1,29 ohm. Pada EIS sistem elek-



Gambar 6: Hasil uji pola discharge pada sistem desalinasi.

trokimia dengan elektroda karbon dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian R-C dengan nilai kapasitansi elektroda sebesar 627 μ F.

Pengujian desalinasi sistem CDI

Untuk melihat kemampuan desalinasi pada sistem CDI, eksperimen ini dilakukan pada ketiga jenis elektroda dengan variasi seperti pada Tabel I.

1. Pengujian Sistem Desalinasi

Pengujian pada sistem CDI dilakukan dengan menggunakan osiloskop (digital Osiloskop DL 1640 Yokogawa) untuk mengetahui pola sinyal *charge* dan *discharge* pada sistem CDI. Sistem CDI diberi potensial input 1,5 V berupa sinyal kotak periodik yang dibangkitkan oleh function generator. Selanjutnya diamati pola sinyal masukan dan keluaran pada sistem CDI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Adanya pola *charge* dan *discharge* pada sistem CDI, maka sistem ini telah bersifat sebagai kapasitor.

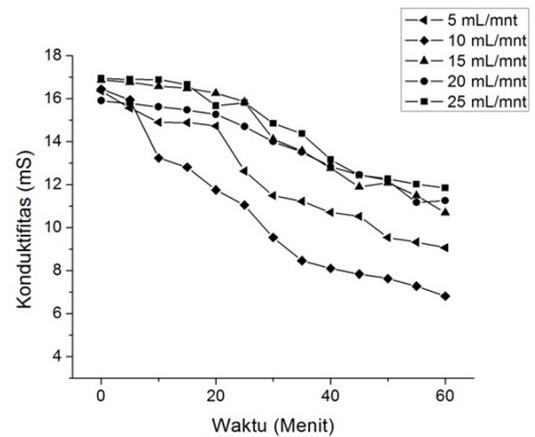
2. Variasi kecepatan aliran

Kecepatan aliran larutan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses penyerapan ion. Aliran larutan ini menentukan kecepatan mobilitas ion-ion ketika terabsorb dalam elektroda [8]. Gambar 7 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur pada kecepatan aliran yang divariasikan berdasarkan Tabel I dan diukur pengurangan konduktifitas larutan setiap 5 menit selama 1 jam. Pada grafik terlihat sistem CDI dapat bekerja dengan baik pada kecepatan aliran 10 mL/menit.

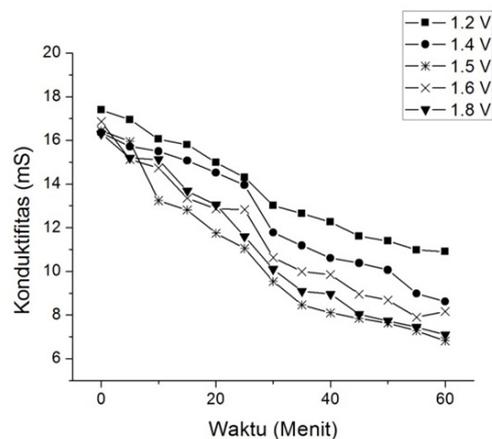
Hasil pengujian desalinasi yang diukur pada potensial 1,5 volt dan kecepatan aliran yang divariasikan dengan kecepatan 5, 10, 15, 20, dan 25 mL/menit menunjukkan pengurangan kadar garam maksimum masing-masing sebesar 44,62%, 58,58%, 36,57%, 32,88%, dan 30,09%.

3. Variasi potensial sumber

Dalam kinetika transport ion pada elektroda karbon



Gambar 7: Hasil desalinasi dengan variasi kecepatan aliran.



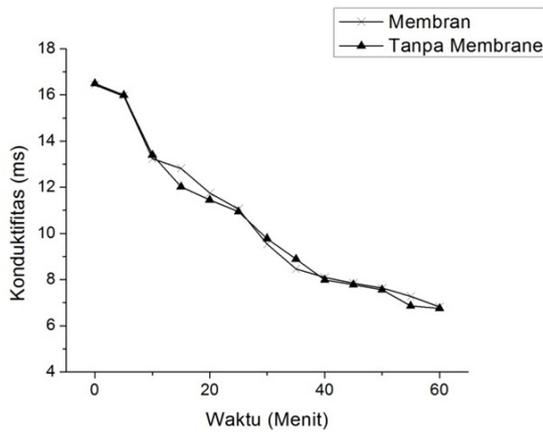
Gambar 8: Hasil desalinasi dengan variasi potensial power supply.

perbedaan potensial antara kedua elektroda memegang peranan penting. Perbedaan potensial pada pergerakan muatan merupakan energi yang dibutuhkan agar muatan dapat bergerak menuju elektroda. Pada dasarnya semakin besar beda potensial yang diberikan pada elektroda maka muatan-muatan akan semakin cepat bergerak menuju elektroda [7]. Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur pada potensial yang divariasikan berdasarkan Tabel I pada sistem CDI dengan tipe A.T120 dengan kecepatan 10 mL/menit.

Hasil pengujian desalinasi yang diukur pada kecepatan aliran 10 mL/menit yang divariasikan dengan beda potensial 1,2; 1,4; 1,5; 1,6 dan 1,8 volt menunjukkan pengurangan kadar garam maksimum masing-masing sebesar 37,36%, 47,34%, 58,58%, 53,14%, dan 56,50%.

4. Variasi Penggunaan Membran

Penambahan membran pada sistem CDI akan menyebabkan co-ion tidak dapat keluar kembali dari elektroda ketika telah terabsorb ke dalam elektroda. Hal



Gambar 9: Hasil desalinasi dengan variasi penggunaan membran pertukaran ion.

ini diharapkan proses absorbs muatan berjalan lebih maksimal [7]. Karena ion-ion tidak bergerak kembali menuju aliran larutan garam pada saat proses desalinasi. Gambar 9 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur dengan penggunaan membran dan tanpa penggunaan membran pada sistem CDI dengan tipe A.T120 pada potensial 1,5 V dan kecepatan aliran

10 mL/menit. Berdasarkan grafik didapatkan hasil desalinasi dengan penggunaan membran sebesar 59,09% sedangkan tanpa membran pengurangan kadar garam terjadi sebesar 58,58%.

IV. SIMPULAN

Pada penelitian ini, elektroda dibuat dengan melakukan temperatur pembentukan ikatan *crosslinking* 120°C dengan nilai kapasitansi elektroda 627 μF . Pada pengujian desalinasi dengan variasi kecepatan aliran didapatkan maksimum pengurangan kadar garam 58,58% dengan kecepatan aliran 10 mL/menit dan beda potensial 1,5 V. Parameter kecepatan ini kemudian dibuat sama 10 mL/menit dengan variasi potensial sumber. Pada variasi beda potensial ini hasil desalinasi pada potensial 1,5 V memiliki hasil tertinggi dibanding dengan variasi beda potensial lainnya. Pengujian penggunaan membran dengan parameter kecepatan 10 mL/menit dan potensial 1,5 V didapatkan hasil yang lebih baik ketika menggunakan membran yaitu sebesar 59,09%. Dengan demikian dapat disimpulkan parameter beda potensial 1,5 volt, kecepatan aliran 10 mL/menit dan penggunaan membran memberikan pengurangan kadar garam maksimum pada sistem desalinasi yang dibuat pada penelitian ini.

[1] T. Buerkle, Making Every Drop Count [<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000494/index.html>].
 [2] Y. Oren, *Desalination*, **228**, 10-29 (2008).
 [3] T.J. Welgemoed, and C.F. Schutte, *Desalination*, **183**, 327-340 (2005).
 [4] J.C. Farmer, *et al.* (1995), Capacitive Deionization with Carbon Aerogel Electrode. LLNL.

[5] P. Byeong-Hee, *et al.*, *J. Industrial and Engineering Chemistry*, 717-722 (2011).
 [6] R. Zhao, *et al.*, *Water Research*, **47**, 1941-1952 (2013).
 [7] H. Li, and L. Zou, *Desalination*, **275**, 62-66 (2011).
 [8] O.N. Deminer, *et al.*, *J. Fluid Engineering ASME*, **135**, 041201-1 (2013).