

Analisis Pengaruh Struktur Sel Elektroda pada Proses Desalinasi Larutan NaCl dalam Sistem Capacitive Deionization (CDI)

Iim Fatimah, Endarko

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

Diterima (16 Juni 2015), direvisi (26 Januari 2016)

Abstract. Effect cell electrodes structure in desalination process has been done. Desalination test is done by using 2 cell CDI as porous carbon electrode (active carbon powder) given an electric current. This research has been utilized by basic principle of a capacitor to remove dissolved ions. Ion solution flows through a pair of electrodes. The positive electrode will attract negative ions, and negative electrodes will attract positive ions. CDI can remove oxidized anions, and cations are not reduced by water using electrostatic force. The data was collected by using solution of NaCl 0,5 M with flow rate of 40 mL/min with variation series and parallel circuit structure on the system. Based on tests performed, the data of parallel conductivity of solution in desalination process reached 14,4 mS, and the reduction of salt levels was obtained by 37% in 5 minutes. The conductivity series circuit reached 7,9 mS, and the reduction of salt levels was obtained by 17% in 5 minutes. These results indicated that the structure of the parallel circuit is capable to delivering better results.

Keywords. capacitive deionization, capacitor, desalination, parallel series circuit

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan struktur sel elektroda pada proses desalinasi larutan NaCl. Pengujian desalinasi dilakukan dengan memakai 2 sel *Capacitive Deionization* (CDI) yang merupakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang dialiri arus. 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. CDI dapat menghapus anion yang tidak teroksidasi dan kation yang tidak direduksi oleh air dengan menggunakan gaya elektrostatik. Pengambilan data menggunakan larutan NaCl 0,5 M dan laju aliran ± 40 ml/menit, dengan menggunakan variasi struktur rangkaian sistem, yaitu secara seri dan paralel. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh data untuk rangkaian paralel penurunan konduktivitas larutan pada proses desalinasi mencapai 14,4 mS, pengurangan kadar garam yang diperoleh sebesar 37% dalam 5 menit sedangkan untuk yang rangkaian seri penurunan konduktivitas larutan pada proses desalinasi sebesar 7,9 mS, mampu mengurangi kadar garam sebesar 17% dalam 5 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur rangkaian secara paralel mampu memberikan hasil yang lebih baik.

Kata kunci. capacitive deionization, desalinasi, kapasitor, rangkaian seri paralel

PENDAHULUAN

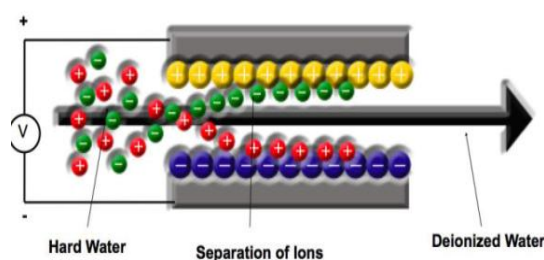
Salah satu teknologi alternatif yang akhir-akhir ini banyak dikembangkan adalah *Capacitive Deionization* (CDI). Studi awal tentang teknologi ini dimulai

oleh Caudle et.al yang menggunakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang dialiri arus untuk desalinasi air (Oren, 2008). 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, Cudero & Palma, 2010).

CDI dapat menghapus anion yang tidak teroksidasi dan kation yang tidak direduksi oleh air dengan menggunakan gaya elektrostatik (Lee dkk, 2012). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan struktur sel elektroda pada proses desalinasi larutan NaCl. Pengujian desalinasi dilakukan dengan memakai 2 sel CDI yang merupakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang dialiri arus. Manfaat penelitian ini adalah dapat mengembangkan teknologi CDI untuk proses desalinasi dan menghasilkan suatu sistem desalinasi yang mampu mengurangi kadar garam dalam NaCl. CDI adalah proses elektrokimia dengan penyerapan ion lapisan ganda yang terbentuk pada elektroda dengan menerapkan perbedaan potensial (Anderson, Cudero & Palma, 2010).

Pada CDI dimana ion anorganik dikeluarkan oleh muatan pemisahan, elektroda karbon digunakan untuk menyerap ion pada permukaannya dalam larutan berair karena memiliki luas permukaan yang tinggi, ion anorganik tinggi adsorpsi dalam larutan air (Anderson, Cudero & Palma, 2010). Teknologi ini memanfaatkan prinsip dasar kapasitor untuk menghilangkan ion terlarut. Pada permukaan plat elektroda terjadi proses elektrokimia, hal ini menunjukkan bagaimana penyerapan bekerja pada sistem CDI.



Gambar 1. Prinsip kerja CDI (Anderson, Cudero & Palma, 2010)

Pada dasarnya, larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif. Idealnya ada proses redoks terjadi, proses ini reversibel dan respon elektrokimia adalah murni kapasitif tanpa kontribusi bahan lain.

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, Cudero & Palma, 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)

Pada sistem 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). Selain sifat material karbon, pengaturan sistem juga lainnya, seperti ketebalan elektroda, spacer geometri, desain sel, dan pengaturan operasional merupakan faktor penting yang menentukan kinerja CDI. Laju penyapuan merupakan parameter yang digunakan pada saat pengujian voltametri siklik yang merupakan laju dari larutan yang digunakan untuk uji elektorda. Untuk membandingkan daya serap atau pengurangan kadar garam dari sistem desalinasi, produk dari desalinasi dapat di hitung menggunakan persamaan *salt removal rate* (Park dkk, 2007):

$$\text{Salt removal (\%)} = \frac{G_f - G_p}{G_f} \times 100 \quad (2)$$

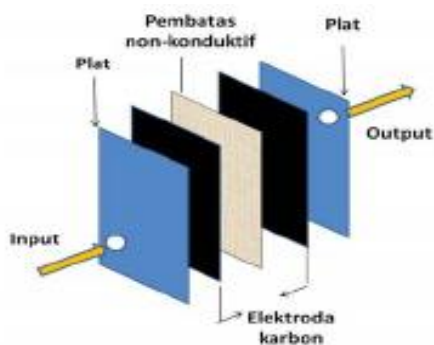
dengan :

G_f = konduktivitas NaCl murni (ohm^{-1}),
 G_p = konduktivitas NaCl setelah desalinasi (ohm^{-1}).

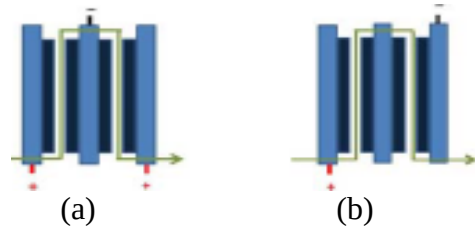
METODE PENELITIAN

Sel CDI yang dibuat memiliki dimensi $80 \times 60 \times 3 \text{ mm}^3$ dan terdiri dari 2 *current collector*, 2 elektroda karbon yang dibuat, dan 1 *spacer*. Adapun skematik dari sel CDI ditunjukkan pada **Gambar 2**. Sel CDI yang dibuat memiliki dimensi $80 \times 60 \times 3 \text{ mm}^3$ dan terdiri dari 2 *current collector*, 2 elektroda karbon yang dibuat, dan 1 *spacer*.

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 3**. Sistem yang dibuat memiliki 2 unit sel (volume efektif dari setiap sel $80 \times 60 \times 3 \text{ mm}^3$) untuk kinerja CDI, satu sel terdiri dari sepasang *current collector*, *spacer* dan sepasang plat elektroda dalam satu jalur aliran. Setelah melewati 2 sel CDI larutan NaCl akan diukur nilai konduktivitas dan kadar garam. 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. Sementara bipolar tegangan antar sel berbeda tidak terdistribusi merata, tetapi nilai energi yang diperlukan relatif sama.



Gambar 2. Skematik sel CDI



Gambar 3. Struktur rangkaian (a) monopolar, (b) bipolar

HASIL DAN PEMBAHASAN

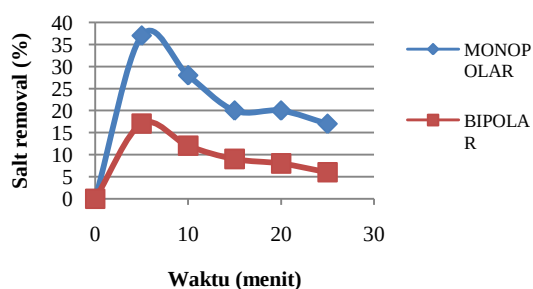
Pengujian desalinasi dilakukan dengan memakai 2 sel CDI, dan laju aliran $\pm 40 \text{ ml/menit}$, menggunakan larutan NaCl 0,5 M dan di variasikan pada struktur rangkaian sistem yaitu secara monopolar dan bipolar, untuk monopolar penurunan konduktivitas larutan pada proses desalinasi pertama mencapai 14,4 mS sedangkan untuk 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 sampai 29,8 mS yang merupakan 24,5% dari nilai awal sedangkan pada rangkaian bipolar pada 5 menit pertama konduktivitas menurun dari 38,9 mS sampai 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.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa struktur monopolar lebih menguntungkan untuk menyerap ion elektrostatis ke permukaan elektroda seperti yang sudah dilakukan oleh Lee dkk (2012), pada penelitiannya menunjukkan pada struktur rangkaian secara bipolar, konduktivitas larutan menurun sampai 6 menit dari $180 \mu\text{S/cm}$ sampai $8,4 \mu\text{S/cm}$ yang merupakan 5% dari nilai awal dari penggambaran bertahap sedangkan pada struktur rangkaian secara monopolar konduktivitas menurun sampai 5 menit dari $187 \mu\text{S/cm}$ sampai $32,7 \mu\text{S/cm}$ yang

merupakan 17% dari nilai awal. Hal ini dikarenakan hambatan listrik pada rangkaian bipolar tidak setimbang, sel yang paling dekat dengan outlet akan menghapus lebih banyak ion karena lebih tahan dari elektroda yang dekat dengan inlet. Untuk rangkaian monopolar digunakan sumber tegangan sebesar 1,2 V dengan arus sebesar 0,38 mA dengan besar daya yang digunakan 0,456 mW sedangkan untuk rangkaian bipolar digunakan sumber tegangan sebesar 1.5 V dengan arus sebesar 0,32 mA dengan daya yang digunakan sebesar 0,48 mW. Pada penelitian ini tidak dilakukan variasi laju aliran pada sistem, laju aliran dibuat seragam, yaitu ± 40 ml/menit.

Rangkaian monopolar paling maksimal mampu mengurangi kadar garam sebesar 37%, sedangkan rangkaian bipolar paling maksimal mampu mengurangi kadar garam sebesar 17%. Oleh karena itu, 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.

Berdasarkan nilai konduktivitas larutan setelah proses desalinasi, maka pengurangan kadar garam untuk struktur monopolar memberikan nilai terbesar 37% dalam 5 menit, sedangkan untuk bipolar mencapai 17 % dalam 5 menit. Elektroda yang dibuat dalam satu siklus desalinasi memerlukan waktu ± 1 jam, sedangkan kemampuan penyerapan ion juga mulai berkurang setelah desalinasi berlangsung ± 25 menit.



Gambar 4. Salt removal untuk rangkaian monopolar dan bipolar

Hal ini menunjukkan bahwa elektroda yang digunakan dalam sistem sudah mengalami saturasi, yaitu permukaannya sudah terisi oleh ion – ion dari larutan yang diujikan. Dalam waktu 25 menit efisiensi dari sistem sudah menurun sehingga perlu dilakukan pengubahan polaritas untuk mengembalikan kondisi elektroda yang digunakan pada sistem.

KESIMPULAN

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

- Y. Oren, “Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment — past, present and future (a review),” *Desalination*, vol. 228, no. 1–3, pp. 10–29, Aug. 2008.
- M. A. Anderson, A. L. Cudero, and J. Palma, “Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices: Will it compete?,” *Electrochimica Acta*, vol. 55, no. 12, pp. 3845–3856, Apr. 2010.
- J. K. Lee, Y. E. Kim, J. Kim, S. Chung, D. Ji, and J. Lee, “Comparable mono and bipolar connection of capacitive

deionization stack in NaCl treatment,”
J. Ind. Eng. Chem., vol. 18, no. 2, pp.
763–766, Mar. 2012.

K.-K. Park, J.-B. Lee, P.-Y. Park, S.-W.
Yoon, J.-S. Moon, H.-M. Eum, and C.-
W. Lee, “Development of a carbon
sheet electrode for electrosorption

desalination,” *Desalination*, vol. 206,
no. 1–3, pp. 86–91, Feb. 2007.

Nihal Engin Vrana, “Use of Poly Vinyl
Alcohol (PVA) Cryogelation for
Tissue Engineering: Composites,
Scaffold Formation and Cell
Encapsulation”. *Thesis*: Dublin City
University.2009.

