

PEMBUATAN ELEKTRODA DAN PERANCANGAN SISTEM CAPACITIVE DEIONIZATION UNTUK MENGURANGI KADAR GARAM PADA LARUTAN SODIUM CLORIDA (NaCl)

Ikfina Himmaty dan Endarko

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Korespondensi Penulis: fina@physics.its.ac.id

Abstract

Fabrication of electrode and design of capacitive deionization (CDI) have been successfully carried out. Electrodes have been made using an activated carbon from coconut shell, graphite and epoxy with ratio 82:10:8. Mixture of activated carbon and graphite poured on an epoxy solution, and then it was added with hardener and epoxy resin (1:1). Electrodes with dimension of $8 \times 6 \times 0.3 \text{ cm}^3$ have been made with doctor blade method. Specific capacitance of the electrode measured at 7.8 mF/g with porosity 13.4%. Desalination is done by passing a solution of NaCl 0.5 M with a flow rate 3.5 ml/min in the CDI system. Salt removal in the capacitive deionization can be measured with conductivity parameter of NaCl solution before and after the desalination process. Calculation of percentage reduction in NaCl concentration can be determined by the decrease in conductivity of the solution after desalination. The results showed that the maximum percentage reduction of salt levels in the NaCl 0.5 M solution for configurations of monopolar and bipolar were achieved at 10.4% and 4.3%, respectively, within 5 minutes of testing time.

Keywords: *capasitive deionisation (CDI), desalination, activated carbon from coconut shell*

Abstrak

Pembuatan elektroda dan perancangan sistem capacitive deionization (CDI) telah berhasil dilakukan. Elektroda dibuat dengan menggunakan perbandingan komposisi bahan karbon aktif, grafit dan epoksi adalah 82:10:8, campuran karbon aktif, grafit yang dituangkan pada larutan epoksi kemudian ditambahkan hardener dengan rasio resin epoksi: hardener adalah 1:1. Hasil campuran dicetak dengan metode doctor blade dengan ukuran $8 \times 6 \times 0,3 \text{ cm}^3$. Kapasitansi spesifik dari elektroda yang dibuat adalah 7.8 mF/g dengan porositas 13,4 %. Desalinasi dilakukan dengan mengalirkan larutan NaCl 0,5 M pada sistem CDI dengan debit 3,5 ml/menit. Pengujian sistem desalinasi dengan teknik capasitive deionisation ini menggunakan parameter konduktivitas larutan NaCl sebelum dan sesudah proses desalinasi. Perhitungan prosentase penurunan kadar garam NaCl dapat ditentukan dengan menurunnya konduktivitas larutan setelah desalinasi. Adsorpsi ion terjadi maksimal 5 menit pertama sampai 20 menit selanjutnya. Prosentase maksimal pengurangan kadar garam berdasarkan pengukuran konduktivitas untuk rangkaian monopolar dan bipolar masing-masing adalah 10,4 % dan 4,3 %.

Kata kunci: *capasitive deionisation (CDI), desalinasi, karbon aktif tempurung kelapa*

Pendahuluan

Air bersih bagi manusia menjadi salah satu kebutuhan yang paling penting untuk kelangsungan hidup. Parameter air bersih diantaranya adalah air tawar yaitu

tidak berasa asam, manis, pahit, atau asin menunjukkan bahwa kualitas air tersebut tidak baik. Rasa asin disebabkan adanya garam-garam tertentu yang larut dalam air, sedangkan rasa asam diakibatkan adanya

asam organik maupun asam anorganik. Penyediaan air bersih perlu diupayakan secara optimal agar tidak terjadi krisis air bersih. Salah satu cara yang bisa dilakukan adalah memanfaatkan sumber air yang melimpah misalnya air laut. Air laut mempunyai rasa asin karena mengandung garam NaCl sekitar 3%, sehingga tidak dapat digunakan secara langsung, karena itu diperlukan proses desalinasi untuk mengurangi kadar garamnya (Sutrisno, 2004).

Salah satu metode desalinasi yang sudah dikembangkan adalah teknik *capacitive deionisation (CDI)*. Studi awal tentang teknologi ini dimulai sejak pertengahan tahun 1960an sampai awal 1970 oleh Caudle et.al yang menggunakan elektroda karbon berpori yang menggunakan serbuk karbon aktif yang dialiri arus untuk desalinasi air (Oren, 2007). Selanjutnya penelitian yang lebih intensif dilakukan oleh Johnson et al. yang mempelajari dan menyelidiki teori dasar CDI dan jenis material elektroda yang digunakan (Oren, 2007). Adanya penemuan ini, selanjutnya menimbulkan banyak penelitian yang dikembangkan berdasarkan faktor mendasar pada teknologi CDI ini yaitu diarahkan pada pengembangan sistem sederhana untuk desalinasi menggunakan teknik CDI dengan bahan elektroda yang baru.

Menurut studi yang dilakukan oleh Johnson dan Newman yang telah melakukan studi komprehensif adsorpsi ion pada elektroda berpori, menyatakan bahwa 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 biasa digunakan karena daya adsorpsinya yang baik adalah karbon aktif. Pembuatan elektroda yang saat ini dikembangkan adalah menggunakan karbon aktif yang

berukuran nano (Zhou, 2011). Penggunaan nanoteknologi pada bahan elektroda ini yang menyebabkan sistem desalinasi dengan teknologi CDI relatif mahal.

Sistem desalinasi dengan teknik *capacitive deionisation* dikembangkan karena biaya perawatan yang murah, ramah lingkungan dan mencegah pencemaran lingkungan karena tanpa penggunaan tambahan bahan kimia, hemat energi karena dioperasikan pada tegangan DC rendah, tanpa pemanasan dan tekanan tinggi (Oren, 2007). Untuk menambah keunggulan dari teknik CDI, pada penelitian ini akan dikembangkan CDI menggunakan elektroda dengan bahan karbon aktif dari tempurung kelapa. Di Indonesia sudah banyak diproduksi karbon aktif dari tempurung kelapa yang menurut penelitian sebelumnya mempunyai daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan karbon aktif dari kayu yang biasa digunakan (Asri, 1995). Sehingga nantinya diharapkan CDI dengan elektroda dari karbon aktif tempurung kelapa ini bisa lebih efektif dan murah dari yang sudah dikembangkan sebelumnya.

Penelitian ini mengusulkan pembuatan plat elektroda untuk *capacitive deionisation* dengan bahan karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa dengan proses *sheet chasting* menggunakan metode *doctor blade*. Selanjutnya elektroda tersebut digunakan pada sistem CDI untuk proses desalinasi yang diujikan pada larutan garam NaCl.

Dasar Teori

Kadar Garam NaCl dalam Air

Salah satu unsur alkali utama yang ditemukan di perairan adalah natrium (Na) atau sering disebut juga sodium. Unsur ini merupakan kation penting yang mempengaruhi kesetimbangan keseluruhan kation di perairan. Jika berada di dalam air, unsur ini selalu dalam bentuk senyawa

karena natrium merupakan unsur yang sangat reaktif. Hampir semua senyawa natrium mudah larut dalam air dan bersifat sangat reaktif. Sumber utama natrium di perairan adalah *albite* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), *nepheline* (NaAlSiO_4), *halite* (NaCl), dan *mirabilite* ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Garam-garam natrium digunakan dalam industri sehingga limbah industri dan limbah domestik merupakan sumber natrium antropogenik. Hampir semua perairan alami mengandung natrium dengan kadar antara 1 mg/liter hingga ribuan mg/liter. Pengukuran kadar natrium perlu dilakukan jika perairan diperuntukkan bagi air minum dan kepentingan irigasi pertanian. Natrium bagi tubuh tidak merupakan benda asing, tetapi toksisitasnya tergantung pada gugus senyawanya. NaOH atau natrium hidroksida sangat korosif, tetapi NaCl justru dibutuhkan oleh tubuh. Kadar NaCl yang diperbolehkan dalam air minum sudah ditentukan yaitu < dari 500mg/l, sehingga diperlukan suatu metode desalinasi untuk mengurangi kadar garam berlebih jika suatu sumber air akan dijadikan sebagai sumber air bersih ataupun air minum (Zhou,2011).

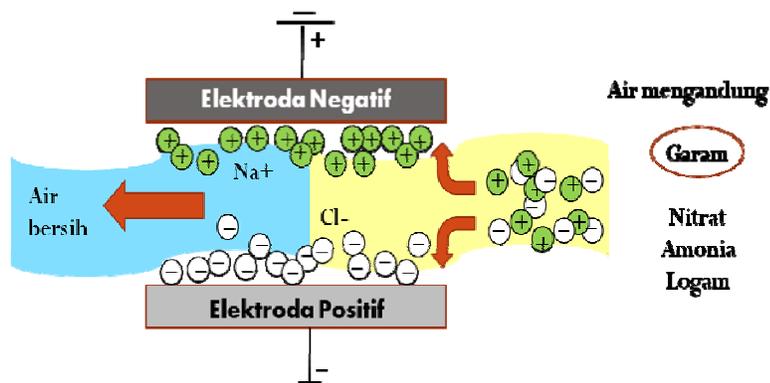
Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Satuan salinitas adalah per mil (‰), yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (Wibisono, 2004). Salinitas merupakan bagian dari sifat fisikkimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas dipengaruhi oleh pasang surut, curah hujan, penguapan, presipitasi dan topografi suatu perairan. Akibatnya,

salinitas suatu perairan dapat sama atau berbeda dengan perairan lainnya, misalnya perairan darat, laut dan payau. Satuan yang ditunjukkan dalam menghitung salinitas adalah *part per thousand* (ppt) atau dengan *practical salinity unit* (psu). Kisaran salinitas air laut adalah 30 – 35‰, estuari 5 – 35‰ dan air tawar 0,5 – 5‰ (Nybakken,1992).

Capacitive Deionization (CDI)

Teknologi *capacitive deionisation* merupakan salah satu metode desalinasi yang dikembangkan karena biaya yang rendah. Metode ini dilakukan dengan mengalirkan air garam melewati celah diantara elektroda berdasarkan prinsip kapasitor dengan penyerapan ion secara elektrostatis pada permukaan elektroda bermuatan. Prinsip kerjanya adalah jika air dengan kandungan garam dialirkan diantara sepasang elektroda yang diberikan beda potensial tertentu maka elektroda akan mengikat ion-ion yang berlawanan pada air tersebut (Gambar 1). Elektroda negatif akan menarik ion bermuatan positif (kation) seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan Natrium (Na), sedangkan elektroda positif akan menarik ion negatif (anion) seperti klorida (Cl) dan nitrat (NO_3). Selanjutnya air yang sudah dialirkan pada sistem ini akan berkurang kandungan garamnya (Dietz,2004).

Salah satu material yang baik untuk digunakan sebagai elektroda adalah karbon aktif. Karbon aktif bersifat konduktif, porositasnya tinggi, dan memiliki sifat penyerapan yang baik serta harganya terjangkau.



Gambar 1. Sistem kerja *capacitive deionisation* (adaptasi dari ENPAR technology)

Metode dan Tata Cara Penelitian Pembuatan Elektroda *Capacitive Deionization*

Pembuatan elektroda untuk sistem *capacitive deionization* ini menggunakan serbuk karbon aktif dari tempurung kelapa dan grafit batang yang dihaluskan. Binder yang digunakan adalah polimer resin epoksi jenis Bisphenol A-Epichlorohidrin dan epoksi hardener Polyaminoamid produksi Eposchon Jerman. Epoksi dilarutkan pada 30 ml toluen Merck, campuran karbon aktif dan grafit dituangkan pada larutan epoksi dan ditambahkan hardener dengan rasio resin epoksi : hardener adalah 1:1. Hasil campuran dicetak dengan metode *doctor blade* dengan ukuran $8 \times 6 \times 0,3 \text{ cm}^3$ dan dikeringkan pada suhu ruang selama 12 jam. Setelah kering dikeluarkan dari cetakan, kemudian dipanaskan pada suhu $110 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 1,5 jam.

Pengujian Elektroda

Elektroda karbon aktif untuk *capacitive deionization* dapat diuji sifat elektrokimianya dengan menggunakan *cyclic voltammetry*. Pengukuran ini menggunakan voltametri Autolab PG Stat 302 Methrom dengan tiga elektroda. Elektroda Pt dan Ag/AgCl sebagai elektroda referensi dan elektroda karbon aktif sebagai elektroda kerja. Pengujian

dilakukan *scanning* pada tegangan $-0,7 - 0,7 \text{ V}$ dengan *scan rate* 2 mV/s menggunakan larutan elektrolit NaCl $0,5 \text{ M}$ pada suhu 27°C . Kapasitansi spesifik dari elektroda dapat diketahui dari kurva tegangan dan arus yang diperoleh, sehingga dapat dihitung kapasitansi spesifik dari elektroda dengan persamaan :

$$C = \frac{i}{v \cdot m} \quad \dots (1)$$

Dengan C adalah kapasitansi spesifik (F/g), i dan v masing-masing adalah arus (A) dan *scanrate* (V/s), m adalah massa elektroda karbon aktif (g). Pada pengujian *cyclic voltammetry*, hasil pengukuran arus dibagi *scanrate* menghasilkan nilai kapasitansi. Kemudian kapasitansi dibagi dengan berat sampel elektroda karbon akan menghasilkan kapasitansi spesifik. (Hou et al., 2012)

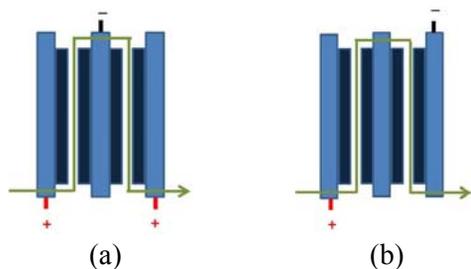
Pengujian Sistem CDI untuk Desalinasi

Pengujian desalinasi dengan CDI ini menggunakan sistem monopolar pada tegangan $1,2 \text{ V}$ dan bipolar dengan tegangan $2,4 \text{ V}$ (Lee et al., 2012). Sistem ini menggunakan cell CDI yang terdiri dari dua pasang elektroda yang dihubungkan baik monopolar maupun bipolar (Gambar 2). Masing- masing sel terdiri dari elektroda negatif dan positif dengan jarak antara adalah 7 mm . Diantara elektroda negatif dan positif

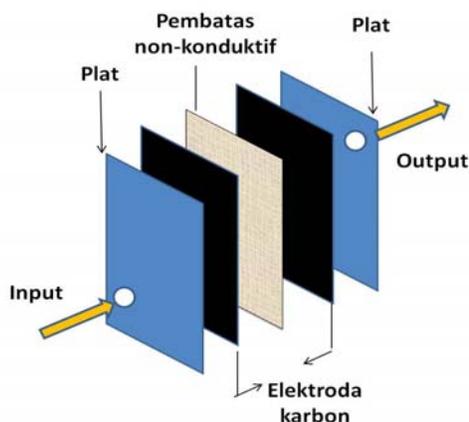
diberi *non-conductive spacer* dengan tebal 1 mm, seperti pada Gambar 3. Larutan garam yang digunakan adalah larutan NaCl 0,5 M dengan laju aliran 3 ml/menit. Pengujian awal untuk mengetahui adsorpsi ion garam dan konduktivitas dilakukan dengan pengambilan data hasil desalinasi pada 5 menit pertama selanjutnya diuji tiap 10 menit berikutnya. Pengukuran konduktivitas menggunakan *conductivity-salinity meter*, dan hasil pengurangan kadar garam dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan persamaan (Park, 2006):

$$\text{pengurangan kadar garam (\%)} = \frac{\sigma_f - \sigma_a}{\sigma_f} \times 100 \dots (2)$$

dengan σ_f adalah konduktivitas awal (mS) dan σ_a = konduktivitas akhir (mS).



Gambar 2. Skema aliran pada rangkaian (a) monopolar (b) bipolar



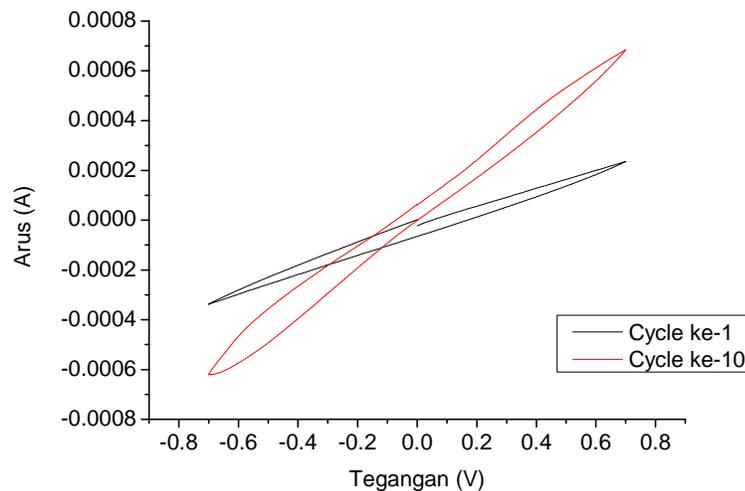
Gambar 3. Susunan setiap pasang elektroda CDI

Hasil dan Pembahasan Elektroda CDI

Pembuatan elektroda karbon pada penelitian ini menggunakan komposisi bahan karbon aktif, grafit dan epoksi dengan perbandingan masing adalah 82 : 10 : 8. Elektroda yang dibuat berukuran $8 \times 6 \times 0,3 \text{ cm}^3$, seperti pada Gambar 4. Pengujian elektroda dengan *cyclic voltammetry* dilakukan sampai 20 *cycle*, dan hasilnya dapat dilihat pada kurva arus dan tegangan pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa kapasitansi spesifik dari elektroda pada siklus ke-10 mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan siklus pertama (Hou et. al, 2012), nilai kapasitansi spesifik pada siklus pertama adalah 7.8 mF/g sedangkan pada siklus ke-10 menjadi 17.2 mF/g.



Gambar 4. Hasil fabrikasi elektroda karbon aktif berukuran $8 \times 6 \times 0,3 \text{ cm}^3$



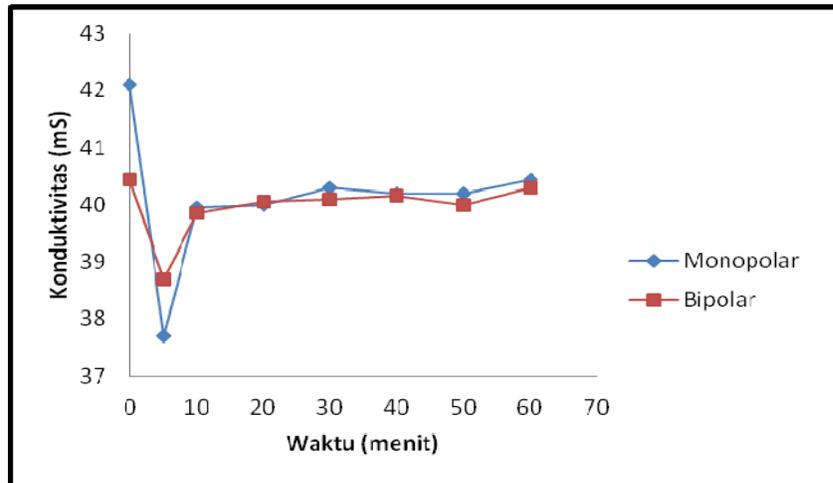
Gambar 5. Diagram CV elektroda karbon aktif dengan *scan rate* 2 mV/s

Sistem CDI

Sistem CDI pada penelitian ini diuji menggunakan 2 struktur rangkaian, yaitu monopolar dan bipolar dengan 2 pasang elektroda. Struktur monopolar yaitu dengan menghubungkan elektroda secara paralel dengan tegangan masukan 1,2 V. Sistem ini mampu membagi semua tegangan secara seragam dari bawah ke bagian atas cell. Digunakan tegangan 1,2 V pada sistem monopolar ini bertujuan agar tidak terjadi elektrolisis, karena menurut penelitian yang lain pengaruh tegangan yang diterapkan pada sistem monopolar jika diatas 1,2 V akan terjadi elektrolisis pada air (Lee et al., 2012). Sedangkan struktur bipolar yaitu menghubungkan elektroda pada sistem CDI secara seri dengan tegangan masukan 2,4 V. Karakteristik pengurangan konduktivitas dari sistem CDI dapat dilihat pada Gambar 6. Ion pada larutan NaCl yang masuk pada sistem CDI akan diadsorpsi oleh permukaan elektroda dengan pemberian tegangan pada cell uji yang menyebabkan berkurangnya konduktivitas larutan tersebut. Jadi pola pengurangan konduktivitas ini

menunjukkan adsorpsi ion oleh permukaan elektroda. Hasil keluaran dari sistem menunjukkan konduktivitas larutan yang lebih rendah.

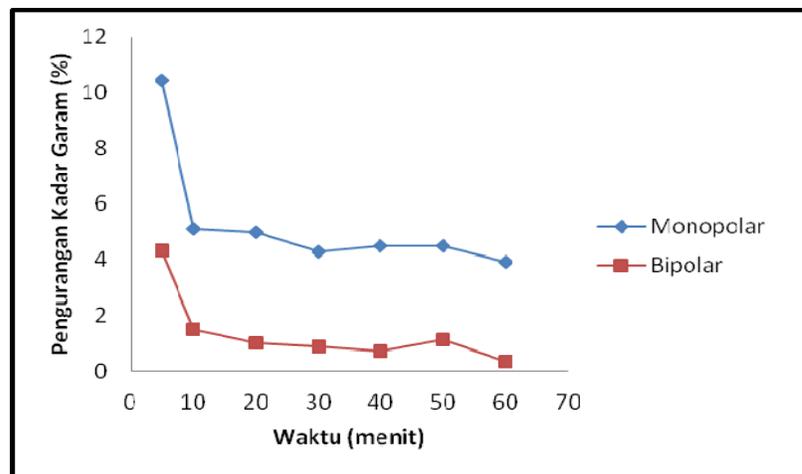
Pada sistem ini, dilakukan pengujian konduktivitas larutan NaCl selama 60 menit. Pada struktur monopolar, nilai konduktivitas menurun setelah 5 menit, yaitu dari 42,1 mS menjadi 37,7 mS. Selanjutnya konduktivitas kembali meningkat dan saturasi setelah 20 menit pada nilai 40 mS. Sedangkan pada struktur bipolar, konduktivitas menurun setelah 5 menit dari 40,45 mS menjadi 38,7 mS dan selanjutnya konduktivitas meningkat kembali setelah 20 menit pada nilai 40,05 mS. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya waktu, lapisan elektroda karbon yang berperan sebagai kapasitor plat sejajar bersifat elektrosorpsi. Setelah beberapa waktu, dalam penelitian ini 20 menit, sifat elektrosorpsi akan berkurang karena permukaan elektrodanya telah ditempati oleh ion sehingga efisiensi pengurangan ion menjadi lebih rendah (Seo et al., 2010).



Gambar 6. Pola penurunan nilai konduktivitas pada larutan NaCl setelah diproses pada sistem CDI dengan tegangan 1,2 V pada struktur monopolar dan 2,4 V pada struktur bipolar

Pengurangan kadar garam pada larutan NaCl dapat diketahui berdasarkan penurunan konduktivitas dengan perhitungan sesuai Persamaan (2). Dari perhitungan tersebut, untuk struktur monopolar diketahui bahwa terjadi pengurangan kadar garam sebesar 10,4 % pada 5 menit pertama dan pada 20 menit berikutnya kadar garam kembali naik

sehingga pengurangan kadar garam menurun yaitu sebesar 4,9 %, seperti terlihat pada Gambar 7. Sedangkan pada struktur bipolar, pada 5 menit pertama hanya mengalami pengurangan kadar garam sebanyak 4,3 % dan untuk 20 menit selanjutnya kadar garam naik lagi sehingga pengurangan kadar garamnya menurun menjadi 0,99%.



Gambar 7. Pengurangan kadar garam larutan NaCl setelah diproses pada sistem CDI dengan struktur monopolar dan bipolar

Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa adsorpsi ion oleh elektroda *capacitive deionization* terjadi secara maksimal pada 5 menit pertama kemudian terjadi penurunan daya adsorpsi pada 20 menit selanjutnya. Berdasarkan pengukuran nilai konduktivitas, dapat diperoleh prosentase maksimal pengurangan kadar garam untuk rangkaian monopolar dan bipolar masing-masing adalah 10,4 % dan 4,3 %.

Daftar Pustaka

- Asri, Rahma Yuni, (1995), “Kemampuan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Kayu sebagai Media Saring dalam Penurunan Kadar Warna Limbah Cair Industri Tekstil PR. Sandratek di Kotamadia Semarang”. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Broseus R, John C, Benoit B, Chaterine DM, Herve S, (2006), “Removal of Total Dissolved solids, Nitrates and Ammonium Ions from Drinking Water Using Charge-Barrier Capacitive Deionisation”, *Desalination*, 249, 217-223
- Dietz, Steven, (2004), “Improved Electrodes for Capacitive Deionization”, *Proceedings of the 2004 NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference, Birmingham, AL, January*.
- Farmer JC, Pekala RW, Fix D, dkk (1995), Capacitive Deionization with Carbon Aerogel Electrode. LLNL
- Hou, Chia-Hung, Jing-Fang Huang, Hong-Ren Lin, Bo-Yan Wang, (2012), “Preparation of activated carbobn sheet electrode assisted electrosorption process”, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers* Vol. 43, pp.473-479
- Johnson, A.M. dan J. Newman, (1971), “Desalting by Means of Porous Carbon Electrodes”, *J. Electrochem. Soc.*, 118(3) 510–517.
- Lee, J,K, dkk. (2012). ”Comparable mono and bipolar connection of capacitive deionization stack in NaCl treatment”. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* Vol. 18, pp. 763-766.
- Nybakken, J. W, (1992), *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*, Gramedia, Jakarta.
- Oren, Y., (2008), “Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review)”, *Desalination*, 228, 10–29.
- Park, Kwang-Kyu, dkk., (2006), “Development of a Carbon Sheet Electrode for Electrosorption Desalination”, *Desalination*, 206, 86-91.
- Seo, Seok-Jun, dkk. (2010). ”Investigation on removal of hardness ions by capacitive deionization (CDI) for water softening applications”. *Water Research* Vol. 44, pp 2267-2275.
- Wibisono, M. S, (2005), *Pengantar Ilmu Kelautan*, PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta.
- Zhou, Linda, Haibo Li dan Mohamed Mossad, (2011), “Capasitive Deionisation As a Useful Tool for Inland Brackish Water Desalination”, *IDA World Congress – Perth Convention and Exhibition Centre (PCEC), Perth, Western Australia*