

Pemanfaatan Carbon Nanotube dan Karbon Aktif sebagai Elektroda Model Desalinasi

Eko Agung Widagdo^a, Pardoyo^{a*}, Agus Subagio^b

^a Inorganic Chemistry Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

^b Material Laboratory, Physics Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

* Corresponding author: pardoyoku@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
Desalinasi, Flow Through Capacitor, carbon nanotube, electrode

Kata kunci:
Desalinasi, Aliran Melalui Capacitor, carbon nanotube, elektroda

Abstract

A research on the use of carbon nanotube and activated carbon as desalination model electrode has been conducted. Electrodes were made from carbon nanotubes/active carbon (CNT/AC) composites. The electrode plate was made using a pressing method with a temperature setting of 180°C. Electrode characterization is conducted by Scanning Electron Microscopy (SEM). The electrodes formed were used on the prototype Flow Through Capacitor (FTC) system with NaCl and MgCl₂·6H₂O as test solutions. Giving voltage to the prototype by varying the voltage at 1, 1.5, 2, and 3 volts. The absorption capacity of the ions was determined by permeating time of the solution at 20, 30, 40, 50, and 60 min. The resultant concentration reduction was known from the measurement of the concentration of the metal ions with the AAS instrument. The result of this research was a desalination model electrode with length, width, and thickness of 115, 75 and 1,5 mm respectively. The electrode resistance value was 32.5 ohms, the optimum composition of the carbon and the binder was 80:20, and the optimum voltage was at 1.5 volts. The number of desalination model electrodes were 7 pairs and the absorption capacity of composite ion electrode to Na⁺ and Mg²⁺ ions for 60 min were 58.51 and 53.68% respectively.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan *carbon nanotube* dan karbon aktif sebagai elektroda model desalinasi. Elektroda dibuat dari komposit *carbon nanotubes/active carbon* (CNT/AC). Lempeng elektroda dibuat menggunakan metode *pressing* dengan pengaturan suhu 180°C. Karakterisasi elektroda dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Elektroda yang terbentuk digunakan pada prototipe sistem *Flow Through Capacitor* (FTC) dengan larutan NaCl dan MgCl₂·6H₂O sebagai larutan uji. Pemberian tegangan pada prototipe dengan melakukan variasi tegangan pada 1, 1,5, 2, dan 3 volt. Kapasitas serapan ion-ion ditentukan dengan melakukan waktu pengaliran larutan pada 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Hasil penurunan konsentrasi diketahui dari pengukuran konsentrasi ion-ion logamnya dengan instrumen AAS. Hasil penelitian yang diperoleh berupa elektroda model desalinasi dengan ukuran panjang, lebar, dan tebal masing-masing 115, 75, dan 1,5 mm. Nilai hambatan elektroda adalah 32,5 ohm, komposisi optimum karbon dan binder yaitu 80:20, dan tegangan optimum pada 1,5 volt. Jumlah elektroda model desalinasi adalah 7 pasang dan kapasitas serapan ion komposit elektroda terhadap ion Na⁺ dan Mg²⁺ selama 60 menit, masing-masing sebesar 58,51 dan 53,68%.

1. Pendahuluan

Krisis sumber air merupakan salah satu permasalahan terbesar di dunia abad ini. Salah satu sumber terbesar di antara lahan perairan adalah air laut. Berbagai permasalahan timbul termasuk di dalamnya adalah penurunan muka air tanah sehingga berpengaruh terhadap penurunan kualitas air. Penurunan muka air tanah ini dikarenakan penggunaan berlebihan air bawah tanah di daerah sekitar pantai dan terjadi kecenderungan air laut masuk ke daratan (kandungan garam meningkat). Pemurnian air laut adalah salah satu hal penting dalam mengatasi permasalahan ini. Pemurnian air laut dapat dilakukan dengan menerapkan pengembangan nanoteknologi saat ini yang terus dilakukan oleh para peneliti dari dunia akademik dan industri. Karbon aktif mendapat perhatian yang lebih untuk aplikasi sebagai materi elektroda dalam sistem elektrokimia karena luas permukaan yang besar dan densitas massa rendah. Akan tetapi, masih banyak kekurangan dalam penggunaan karbon aktif, seperti resistensi tinggi, membutuhkan energi tinggi, dan sifat tak menguntungkan lainnya. *Carbon nanotubes* cukup menjanjikan sebagai materi ukuran nano yang cocok untuk berbagai aplikasi karena sifat-sifat elektriknya, kekuatan mekanik yang baik, dan resistensi yang rendah [1]. *Carbon nanotubes* merupakan material anorganik yang memiliki pori-pori, luas permukaan yang besar, rapat energi tinggi, dan waktu hidup yang lama. Dengan sifat-sifat tersebut, *carbon nanotubes* akan bermanfaat apabila digunakan untuk sistem desalinasi karena mampu menurunkan kadar NaCl maupun garam-garam lain dengan menyimpan ion-ion senyawa garam tersebut. Karena merupakan fenomena permukaan maka semakin luas permukaan kontak makin tinggilah efisiensi pengolahan.

2. Metode Penelitian

Elektroda

Pembuatan lempeng elektroda dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif yang sudah diaktivasi dan *carbon nanotubes* (CNT) pada perbandingan 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, dan 0:100 serta dengan menambahkan 20% pengikat (Phenolic resin dan urotropin) dan dicetak menggunakan alat *pressing* dengan temperatur 180 °C selama 30 menit. Selanjutnya elektroda dikarakterisasi menggunakan SEM dan diuji penurunan kadar garamnya.

Pengujian Prototipe Desalinasi

Pengujian prototipe desalinasi dilakukan dengan mengalirkan larutan yang mengandung garam Na⁺ dan Mg²⁺ melewati elektroda pada prototipe yang diberi beda potensial. Kemudian mencatat hasil penurunan konsentrasi larutan garam sebelum dan sesudah melewati elektroda.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Material Elektroda

Karbon aktif yang diperoleh dari BRATACHEM dikarbonasi dengan memanaskan pada temperatur

900°C selama 2 jam dengan dialiri gas nitrogen. Proses karbonisasi dilakukan hingga mencapai temperatur 900°C untuk memperluas jaringan pori yang terbentuk. Hasilnya berupa karbon yang berpori sehingga luas permukaannya besar. Dari pengukuran PSA (*Particle Size Analyzer*) diameter rata-rata butiran karbon aktif sebelum diaktivasi adalah 15.646,2 nm, dan setelah diaktivasi diameter rata-rata menjadi 4.776,4 nm. Selain memecah karbon aktif yang berukuran besar, proses aktivasi juga dapat membuka pori-pori karbon aktif yang tertutup senyawa organik. Aktivasi juga mengakibatkan nilai resistensi akan menurun dibandingkan tanpa aktivasi. Dengan ukuran butir dan pori-pori yang kecil maka jarak antarbutir menjadi lebih dekat, akibatnya konduktivitas akan meningkat.

Karbon aktif bersifat konduktif, porositas tinggi, dan memiliki sifat penyerapan yang baik, tetapi karbon aktif sebagai elektroda memiliki beberapa kelemahan yakni sifat resistensi dan konsumsi energi yang tinggi. Penambahan *carbon nanotube* (CNT) bertujuan untuk mengurangi resistensi pada karbon aktif karena sifat kelistrikan dan kekuatan mekanik yang baik, dan resistensi rendah [2]. Tabung-tabung CNT yang kecil dan memanjang akan menyusup dan menjadi jembatan pada struktur makroporos dan mesoporos karbon aktif, sehingga akan meningkatkan konduktivitas komposit elektroda dan mengakibatkan resistensi berkurang.

Sintesis CNT memakai metode *spray-pyrolysis*. Pada sintesis CNT, bahan dasar yang digunakan adalah benzena dan *ferrocene* sebagai katalisator. Pencampuran benzena (C₆H₆) dengan *ferrocene* dilakukan sebelum penginjeksian ke dalam tabung *quartz* di dalam *furnace*. Benzena berperan sebagai sumber hidrokarbon, sedangkan *ferrocene* sebagai katalis yang membantu dalam proses penumbuhan karbon hasil pemanasan. Penginjeksian dalam tabung *quartz* disertai dengan aliran gas argon 5 liter/menit dengan maksud untuk mendorong keluar gas pengganggu yang berasal dari lingkungan, terutama gas oksigen dan gas-gas lain yang berada di dalam tabung tersebut. Sintesis dilakukan pada suhu 900°C.

Pengaruh Komposisi Binder

Pembuatan lempeng elektroda dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif dan *carbon nanotubes* (CNT) dengan berbagai perbandingan komposisi. Untuk memperkuat hasil cetakan elektroda ditambahkan bahan pengikat *phenolic resin* dan *urotropin*. Campuran karbon dan binder dicetak pada alat *pressing* dan dipanaskan selama 30 menit pada temperatur 180°C. Bahan pengikat (*binder*) merupakan material yang akan memperkuat elektroda antara karbon aktif dan *carbon nanotubes*. *Phenoloc resin* dan *urotropin* sebagai pengeras yang dapat meningkatkan sifat mekanik (memperbaiki kekuatan dan kekerasan material) yang akan dibuat. Pada temperatur hampir 180°C merupakan temperatur optimum binder bekerja sebagai pengeras [3]. Penyempurnaan ikatan akan terjadi pada suhu 180°C atau lebih sehingga pengaruh binder terhadap pori material elektroda (karbon aktif dan CNT) bisa teratasi dan tidak akan berpengaruh pada luas permukaan materi.

Tabel 1 Pengaruh komposisi karbon dan binder terhadap nilai resistansi

Sampel	Hasil Cetakan	R(Ω)
10% pengikat	tidak terbentuk	-
20% pengikat	terbentuk	32,5
25% pengikat	terbentuk	45,2
30% pengikat	terbentuk	57,5
40% pengikat	menempel pada cetakan	352

Tabel 1 menunjukkan parameter elektroda pada berbagai komposisi karbon dan binder. Dari tabel, komposisi karbon dan binder 90:10 sangat tidak mungkin dilakukan karena elektroda yang dihasilkan rapuh. Ini bisa dikarenakan oleh bahan pengikat berjumlah sedikit sehingga belum mampu untuk menjangkau keterikatan dengan karbon. Sebaliknya, komposisi binder sebanyak 40% elektroda yang dihasilkan kurang baik karena sebagian menempel pada cetakan *pressing*. Perbandingan karbon dan binder terbaik dihasilkan pada jumlah komposisi 80:20. Ini dibuktikan dengan pengukuran hambatan (R) yang menunjukkan angka paling rendah (32,5 ohm). Hambatan ini akan berpengaruh pada sifat elektroda, hambatan semakin kecil maka kualitas elektroda untuk desalinasi akan semakin baik. Penghantar yang mempunyai tahanan kecil amat mudah dialiri arus listrik sehingga mempunyai daya hantar listrik yang besar. Elektroda yang mempunyai hambatan besar, sulit dialiri arus listrik, dan dikatakan mempunyai daya hantar listrik yang kecil sehingga pada elektroda yang digunakan kali ini adalah elektroda dengan nilai hambatan sekecil mungkin karena lebih mudah dialiri listrik dan mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan. Selanjutnya akan dilakukan variasi penambahan *carbon nanotube* untuk mengetahui komposisi terbaik yang perlu ditambahkan untuk menghasilkan elektroda yang memiliki nilai resistansi yang rendah.

Pengaruh Penambahan *Carbon Nanotubes* pada Karbon Aktif

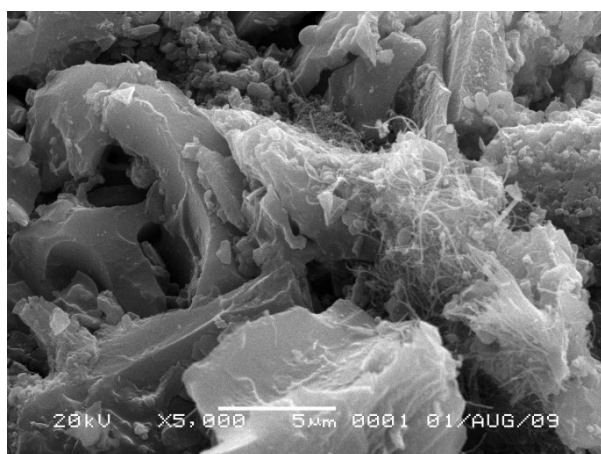
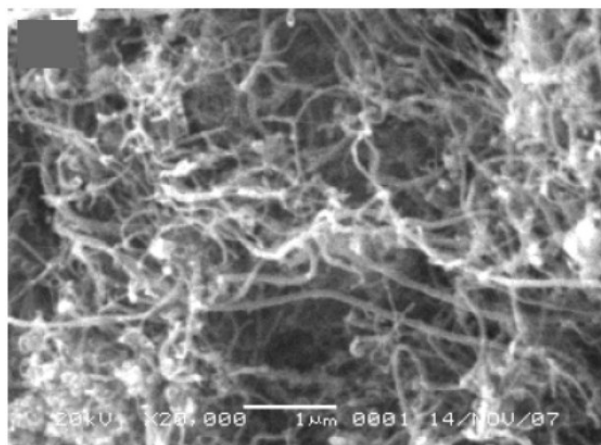
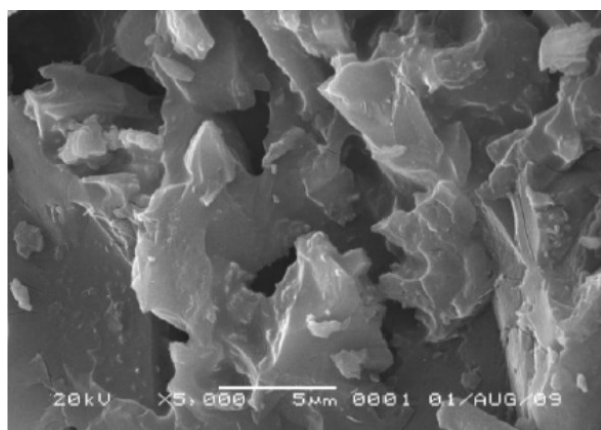
Pengaruh penambahan CNT pada karbon aktif terhadap nilai resistansi dapat dilihat pada tabel 2, dengan penambahan *carbon nanotubes* dapat menurunkan resistansi secara signifikan karena *carbon nanotubes* memiliki jari-jari yang kecil sehingga tabung-tabung CNT mampu memasuki celah-celah karbon aktif untuk kemudian menjadi satu material yang utuh dan mampu menunjukkan nilai resistansi yang rendah. Ini membuktikan bahwa CNT memiliki konduktivitas yang baik. Juga terlihat dari nilai resistansi CNT 100% (4 ohm) yang menunjukkan angka paling kecil di antara komposit lain. Akan tetapi, hal ini dirasa kurang efektif dikarenakan akan memakan biaya produksi yang besar dan permukaan serap elektroda secara makro akan berkurang.

Tabel 2 Pengaruh komposisi karbon dan CNT terhadap nilai resistansi

Komposit (%)	R(Ω)
0% CNT	3125
10% CNT	35,4
20% CNT	25,1
100% CNT	4,0

Pada komposit elektroda dengan 100% karbon aktif, memiliki resistansi yang sangat besar (3125 ohm) bahkan mencapai orde kilo ohm hal ini dikarenakan banyaknya makroporos dan mesoporos pada rongga-rongga karbon. Ini tidak memungkinkan jika elektroda diaplikasikan sebagai sistem desalinasi karena energi/tegangan yang dibutuhkan untuk menguraikan ion-ion larutan garam lebih besar. Dengan penambahan CNT dengan komposisi semakin besar, maka akan menurunkan konsumsi energi yang dibutuhkan. Konsumsi energi ini tergantung pada luas permukaan (pori) elektroda yang berhubungan dengan kemampuan adsorpsi dan tergantung juga pada resistansi (R) elektroda. Dengan kata lain, resistansi yang tinggi, konsumsi tegangan (energi) akan ikut meningkat [1]. Dari tabel juga dapat disimpulkan hasilnya bahwa pada komposit elektroda dengan komposisi CNT 10% merupakan komposisi cukup efektif karena mempunyai nilai resistansi yang tidak terlalu besar (35,4 ohm). Jika elektroda mempunyai resistansi yang kecil, maka tegangan yang digunakan untuk menetralkan atau menguraikan ion-ion larutan garam akan semakin kecil dan energi yang dikonsumsi juga sangat kecil.

Gambar 1 menunjukkan citra SEM yang menggambarkan distribusi *carbon nanotubes* (CNT) pada elektroda dan menunjukkan bahwa elektroda merupakan material berpori. Ini bisa dilihat dengan adanya serat-serat CNT yang bercampur dengan karbon. Penambahan CNT akan mengurangi mesoporos dan makroporos pada karbon aktif. Tabung-tabung CNT yang kecil dan memanjang akan menyusup dan menjadi jembatan pada struktur makroporos dan mesoporos karbon aktif. Penggunaan elektroda karbon aktif dirasa kurang efektif karena akan menunjukkan nilai hambatan yang besar. Begitu juga dengan penambahan CNT yang terlalu berlebihan akan mengurangi luas permukaan serap elektroda, di samping biaya produksi yang lebih tinggi [4]. Penambahan CNT sebesar 10% dianggap merupakan kondisi optimum pemakaian elektroda karena nilai hambatan/resistansi yang kecil dan daya serap yang cukup baik.



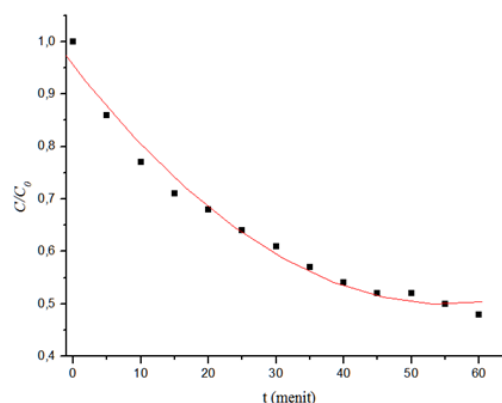
Gambar 1 Citra SEM elektroda (a) Karbon aktif tanpa CNT, (b) CNT, (c) Penambahan CNT 10%

Citra SEM menunjukkan bahwa elektroda yang dicetak termasuk material berpori sehingga dapat digunakan sebagai elektroda pada sistem desalinasi dengan metode *Flow Through Capacitor* karena ion-ion logam dapat menempel dan terjerap pada permukaan elektroda.

Pengujian Elektroda

Metode *flow-through capacitor* (FTC) merupakan salah satu metode desalinasi yang dilakukan dengan mengalirkan air garam melewati celah di antara elektroda. Desalinasi adalah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kandungan garam sehingga menjadi air bersih dan dapat digunakan. Penggunaan FTC juga memiliki beberapa keuntungan

seperti tidak membutuhkan biaya tinggi, ramah lingkungan, dan hal-hal yang bersifat *energy-saving*. Selain itu, penggunaan elektroda pada FTC juga mampu menyimpan logam dalam bentuk ion jika dibandingkan dengan serbuk (*powder*). FTC bekerja dengan penyerapan elektrostatis ion dari permukaan elektroda [1]. Prinsipnya yaitu dengan memanfaatkan elektroda yang berukuran panjang, lebar, dan tebal 115, 75, dan 1,5 mm, dari bahan karbon aktif dan CNT yang dipasang paralel. Prototipe desalinasi terdiri dari 7 pasang komposit elektroda CNT 10% yang disusun secara paralel. Larutan dielektrik yang biasanya digunakan di antara kedua keping elektroda diganti dengan air garam, dengan asumsi bahwa air garam juga merupakan larutan dielektrik yang bila ditempatkan pada beda potensial (tegangan) tertentu maka senyawa garam akan terurai. Proses ini menghasilkan akumulasi konsentrasi garam di permukaan elektroda setelah terjadi kontak antarmuka cairan dengan elektroda, dalam waktu dan tegangan tertentu. Kemampuan elektroda menurunkan tingkat salinitas dapat dibuktikan dengan penurunan tingkat salinitas yang terjadi ketika prototipe dicoba dengan mengalirkan larutan garam 1785 mg/L di antara elektroda kapasitor dengan laju aliran 50 mL/menit dan tegangan 1,5 volt. Grafik penurunan kadar garam ditunjukkan pada gambar 2.

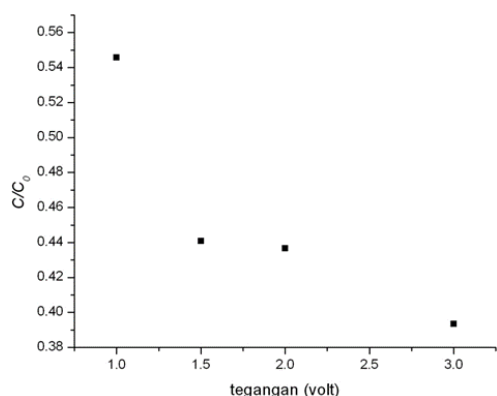


Gambar 2 Grafik penurunan kadar garam terhadap waktu alir dan pemberian tegangan pada prototipe desalinasi

Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar garam setelah larutan dilewatkan pada prototipe secara kontinyu seiring dengan penambahan waktu pengaliran. Elektroda bekerja sebagai kapasitor yang memiliki lapisan ganda dengan kedua sisinya dapat menyerap ion-ion garam sehingga dapat menyimpan akumulasi ion-ion dengan lebih efektif. Fenomena adsorpsi terjadi di sini yakni terjadi pengumpulan ion-ion di permukaan elektroda. Proses ini menghasilkan akumulasi konsentrasi ion-ion senyawa garam di permukaan elektroda setelah terjadi kontak antarmuka dengan cairan sehingga bisa mengurangi kadar salinitas dalam larutan uji. Kemampuan yang dihasilkan sebesar 52% senyawa garam terpisah setelah pengujian prototipe berdasarkan tingkat salinitasnya.

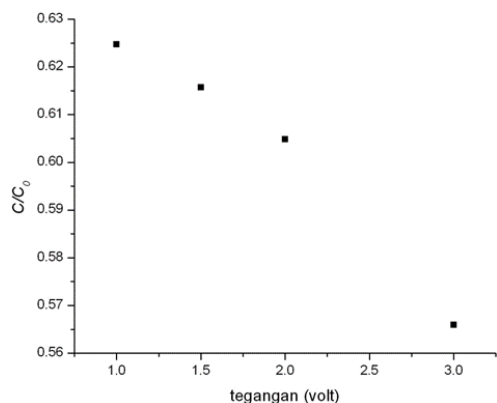
Pengujian terhadap ion Na⁺ dan Mg²⁺ dengan Variasi Tegangan

Proses *removal* logam dipengaruhi oleh tegangan sebagai sumber energi. Pemberian tegangan akan menimbulkan medan listrik di sekitar larutan sehingga akan menggerakkan ion-ion, dan terakumulasi pada material elektroda. Gambar 3 menjelaskan bahwa terjadi kecenderungan penurunan kadar Na⁺ meningkat dengan kenaikan tegangan. Penurunan kadar Na⁺ paling sedikit didapat pada pemberian tegangan 1 volt dan konsentrasi yang tertinggal pada elektroda akan bertambah dengan peningkatan tegangan hingga 3 volt. Kenaikan tegangan akan mengakibatkan terjadi medan listrik di sekitar larutan semakin besar. Kuantitas gerakan ion-ion larutan garam, dalam hal ini NaCl, akan meningkat pula sehingga senyawa garam ikut terurai menjadi ion-ionnya dan terserap pada elektroda.



Gambar 3 Grafik penurunan kadar Na⁺ pada berbagai variasi tegangan

Pada tegangan di atas 3 volt kemungkinan terjadi penguraian NaCl yang semakin besar, tetapi mulai timbul gelembung-gelembung di sekitar elektroda dan berbau sedikit menyengat. Ini dimungkinkan karena mulai terjadi reaksi elektrolisis yang bisa menghasilkan senyawa yang kurang diharapkan. Senyawa air terurai menjadi ion H⁺ dan OH⁻, terjadi reaksi antara senyawa garam dengan air membentuk natrium hidroksida (NaOH) dan gas klorin (Cl₂) yang berbau menyengat



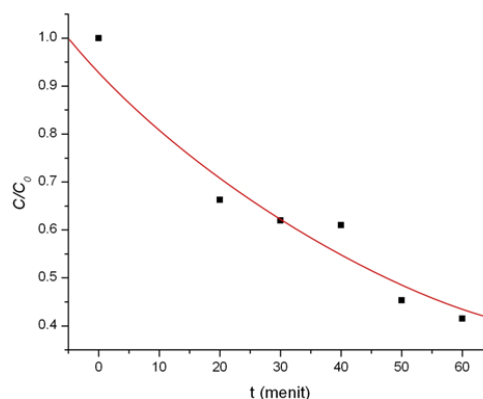
Gambar 4 Grafik penurunan kadar Mg²⁺ pada berbagai variasi tegangan

Proses pemisahan (*removal*) Mg²⁺ cenderung meningkat dengan bertambahnya tegangan. Hal ini

karena daya serap yang tinggi akibat medan listrik yang semakin besar dari pemberian tegangan hingga mencapai 3 volt. Akan tetapi, pemberian tegangan yang terlalu besar (2-3 volt) bisa menghasilkan senyawa maupun gas yang kurang diharapkan. Ini dimungkinkan karena mulai terjadinya elektrolisis yang dapat menghasilkan Mg(OH)₂ dan gas klorin (Cl₂). Deionisasi kapasitor terjadi pada 1,2 – 1,7 volt. Rentang tegangan ini memberikan batas terbesar pemberian potensial pada tahap perlakuan selanjutnya. Hal tersebut bertujuan supaya proses *removal* Na⁺ dan Mg²⁺ tidak diganggu dengan komplikasi reaksi yang bisa terjadi pada daerah tegangan yang lebih besar. Untuk pengujian prototipe selanjutnya ditetapkan tegangan adalah 1,5 volt.

Pengujian terhadap Ion Na⁺ dan Mg²⁺ dengan Variasi Waktu

Pengujian dilakukan dengan melewati larutan garam dengan diberi tegangan 1,5 volt pada masing-masing elektroda yang berjumlah 7 pasang. Hasil penurunan kadar ion logam Na⁺ dan Mg²⁺ semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu alir. Medan listrik yang diberikan pada larutan akan mendorong ion-ion dalam larutan terserap pada elektroda yang berlawanan muatan, yakni ion positif akan terserap pada elektroda negatif begitu sebaliknya. Penarikan ion-ion pada elektroda terjadi karena molekul-molekul pada larutan yang juga memiliki gaya tarik dalam keadaan tidak setimbang yang cenderung tertarik ke arah dalam. Ketidakseimbangan gaya tarik tersebut mengakibatkan elektroda cenderung menarik ion-ion dalam larutan yang bersentuhan dengan permukaan elektroda. Proses ini termasuk peristiwa kesetimbangan kimia. Dikarenakan berkurangnya kadar zat yang tertarik dan terjebak dalam pori elektroda terjadi secara kesetimbangan, sehingga secara teoritis, tidak dapat terjadi penyerapan sempurna adsorbat oleh adsorben. Dari gambar 5 dan 6, pada menit-menit awal terjadi penurunan kation logam yang cepat dan terus melambat seiring berjalannya waktu.

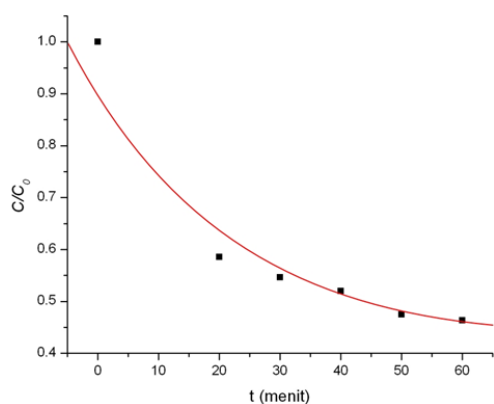


Gambar 5 Grafik penurunan kadar Na⁺ terhadap waktu alir pada prototipe desalinasi

Gambar 5 menunjukkan peningkatan kuantitas kandungan Na⁺ yang terserap pada elektroda juga sebanding dengan penambahan waktu alir. Rongga tempat terjadinya kontak antarmuka larutan dan elektroda tercapai karena memiliki ukuran yang sesuai.

Ion-ion yang bisa diserap adalah ion-ion yang berukuran sama atau lebih kecil dari ukuran pori elektroda. Ion Na^+ memiliki jari-jari ion $0,95 \text{ \AA}$ [5]. Karbon aktif memiliki diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$ sehingga ion Na^+ lebih mudah masuk ke dalam pori-pori dan terjebak di dalamnya. Selain itu, karbon aktif mempunyai ukuran diameter pori sekitar $0,4$ sampai 2 nm dengan luas permukaan spesifik sekitar 800 sampai $1500 \text{ m}^2/\text{gram}$ (Zhonghua dkk., 2001). Hasil untuk pengujian prototipe terhadap kadar Na^+ dengan 7 pasang elektroda selama 60 menit, dapat menurunkan kadar sebesar $58,51\%$.

Penurunan kadar ion Mg^{2+} cenderung meningkat dengan penambahan waktu pengaliran. Hal ini karena dengan penambahan waktu berarti bertambah pula kemungkinan ion Mg^{2+} berinteraksi dengan elektroda dan menempati rongga-rongga elektroda. Ion Mg^{2+} memiliki jari-jari ion sebesar $0,65 \text{ \AA}$ [5] sehingga mudah memasuki pori-pori pada elektroda.

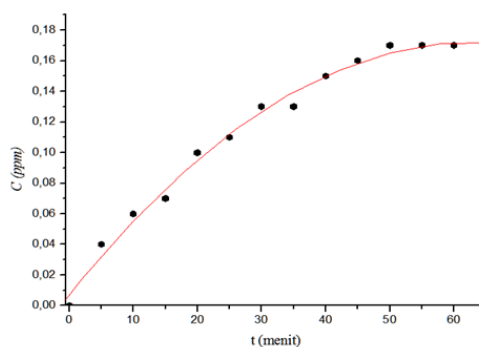


Gambar 6 Grafik penurunan kadar Mg^{2+} terhadap waktu alir pada prototipe desalinasi

Penurunan konsentrasi Mg^{2+} terhadap waktu akan cenderung melambat sampai batas maksimum kemampuan serap elektroda untuk memisahkan ion-ion. Hasil pada pengujian prototipe terhadap Mg^{2+} dengan 7 pasang elektroda selama 60 menit dapat menurunkan kadarnya sebesar $53,68\%$.

Proses Regenerasi

Regenerasi bertujuan untuk mengembalikan kemampuan elektroda agar bisa digunakan kembali sebagai penyerap kation logam. Pemakaian prototipe akan membuat ion-ion terakumulasi pada pori-pori elektroda, yang akan mengurangi kemampuannya jika digunakan kembali. Perlakuan yang dilakukan dengan prinsip reaksi balik (*reversible*) pada elektroda dengan menggunakan larutan air tawar (akuades). Pada prinsipnya ion-ion garam akan terlepas dan akumulasi ion-ion tersebut akan ikut terbawa larut bersama air tawar. Gambar 7 menjelaskan bahwa terjadi kenaikan kadar garamnya dengan bertambahnya waktu regenerasi. Medan listrik yang diberikan pada lapisan permukaan elektroda mengakibatkan perpindahan ion dalam larutan menuju permukaan elektroda dan menempel pada pori-porinya.



Gambar 7 Grafik laju konsentrasi larutan selama proses regenerasi

Ini terjadi karena gaya Van der Waals ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan elektroda lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka ion terlarut akan diadsorpsi. Proses ini memiliki gaya tarik yang kekuatannya relatif kecil. Dari grafik terjadi kenaikan laju konsentrasi garam dikarenakan gaya tarik menarik yang relatif lemah antara ion-ion garam dengan permukaan elektroda, sehingga ion-ion tersebut mudah terlepas larut bersama air tawar.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komposit elektroda paling baik dibuat dengan penambahan 20% pengikat. Kombinasi elektroda yang paling efektif dalam memisahkan garam dari larutan garam adalah pada elektroda dengan penambahan 10% CNT. Kapasitas penurunan kadar Na^+ dan Mg^{2+} dengan 7 pasang elektroda selama 60 menit, dapat menurunkan kadar masing-masing sebesar $58,51$ dan $53,68 \%$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Dongsong Zhang, Liyi Shi, Jianhui Fang, Kai Dai, Removal of NaCl from saltwater solution using carbon nanotubes/activated carbon composite electrode, *Materials Letters*, 60, 3, (2006) 360-363 <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2005.08.052>
- [2] Kai Dai, Liyi Shi, Dongsong Zhang, Jianhui Fang, NaCl adsorption in multi-walled carbon nanotube/active carbon combination electrode, *Chemical Engineering Science*, 61, 2, (2006) 428-433 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2005.07.030>
- [3] S Sulaiman, R Yunus, NA Ibrahim, F Rezaei, Effect of hardener on mechanical properties of carbon fibre reinforced phenolic resin composites, *Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 1, (2008) 79-86
- [4] Dongsong Zhang, Liyi Shi, Jianhui Fang, Kai Dai, Jiquan Liu, Influence of carbonization of hot-pressed carbon nanotube electrodes on removal of NaCl from saltwater solution, *Materials Chemistry and Physics*, 96, 1, (2006) 140-144 <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.06.056>
- [5] Ralph H Petrucci, Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985.