

PEMBUATAN SEL *CAPACITIVE DEIONIZATION* BERBASIS KARBON AKTIF DAN MEMBRAN UNTUK DESALINASI AIR GARAM

FABRICATION CAPACITIVE DEIONIZATION CELL BASED ON ACTIVATED CARBON AND MEMBRANE FOR SALT WATER DESALINATION

Leah Mina Permatasari¹, Memoria Rosi², Linahtadiya Andiani³

^{1,2,3}, Universitas Telkom, Bandung

leahpermatasari@student.telkomuniversity.ac.id¹, memoriarosi@telkomuniversity.ac.id², linahtadiyaa@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Capacitive Deionisation (CDI) merupakan salah satu metode desalinasi dengan cara mengikat ion-ion garam air laut dengan memberikan tegangan di antara dua elektroda karbon berpori. Metode ini banyak dikembangkan karena biaya yang murah dan hemat energi karena dioperasikan pada tegangan DC yang rendah (1, V). Bahan elektroda yang sering digunakan adalah karbon aktif. Karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar (lebih dari 1000 m²/g) yang berfungsi untuk menyimpan ion-ion garam. Pada beberapa aplikasi desalinasi dilaporkan penambahan membran penukar ion dapat menahan ion-ion garam untuk terlepas dari pori-pori karbon aktif. Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran menggunakan sel CDI yang terbuat dari material karbon aktif, CMC, dan membran penukar ion (SSA) dengan debit rendah, yaitu 10 ml/menit. Serta dilakukan perbandingan pengukuran antara sel CDI dengan variasi membran dan sel CDI tanpa membran pada debit yang sama. Diperoleh hasil pengukuran pada sel CDI variasi membran dengan pengurangan konduktivitas sebesar 59,30% dalam 55 siklus, sedangkan sel CDI tanpa membran memiliki tingkat pengurangan kadar garam pada debit 10 ml/menit sebesar 26,58% dalam 23 siklus.

Kata Kunci: *capacitive deionisation (CDI), karbon aktif, membran SSA, desalinasi.*

Abstract

Capacitive Deionization (CDI) is a desalination method by binding seawater salt ions by applying a voltage between two porous carbon electrodes. This method is widely developed because of its low cost and energy saving because it is operated at a low DC voltage (1, V). The electrode material that is often used is activated carbon. Because it has a large specific surface area (more than 1000 m²/g) which serves to store salt ions. In some desalination applications, it was reported that the addition of an ion-exchange membrane could hold salt ions out of the pores of the activated carbon. In this research, measurements will be carried out using a CDI cell made of activated carbon, CMC, and ion-exchange membrane (SSA) with a low flow rate of 10 ml/minute. As well as a comparison of measurements between CDI cells with membrane variations and CDI cells without membranes at the same discharge. The measurement results were obtained in CDI cells with membrane variations with a conductivity reduction of 59.30% in 55 cycles, while CDI cells without membranes had a reduced level of salt content at 10 ml/minute discharge of 26.58% in 23 cycles.

Keywords: *capacitive deionisation (CDI), activated carbon, membrane SSA, desalination.*

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat penting bagi makhluk hidup. Ketersediaan air dalam kehidupan manusia tentunya sangat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia. Secara keseluruhan, air meliputi 70% bagian dari permukaan bumi dimana komposisinya adalah 94% merupakan air laut dan 6% adalah air tawar. Jumlah penduduk yang terus bertambah membutuhkan ketersediaan air tawar yang meningkat [1]. Permasalahan yang kita hadapi sekarang bahkan puluhan tahun ke depan adalah kelangkaan air bersih. Salah satu solusi dari masalah kelangkaan air bersih tersebut ialah dengan memanfaatkan air laut karena jumlahnya yang melimpah di muka bumi. [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan dari air laut menjadi air tawar melalui proses desalinasi. Desalinasi air laut dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu *Reverse Osmosis* (RO), Elektrodialisis, *Multi-Effect Distillation*

(MED), *Multi-Stage Flash* (MSF), *Capacitive Deionization* (CDI).

CDI dapat menjadi metode yang dipilih dalam proses desalinasi karena metode ini lebih hemat energi, biaya perawatan murah, dan ramah lingkungan. Prinsip kerja dari CDI adalah pengurangan kadar garam dengan memberikan beda potensial pada dua elektroda sejajar dengan jarak tertentu. Penelitian sebelumnya mengenai CDI menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa dan membran penukar ion (SSA) yang menghasilkan efisiensi pengurangan kadar garam maksimal sebesar 22% dengan debit rendah sebesar 10ml/menit [3]. Penelitian lainnya menggunakan karbon aktif dari norit pengurangan kadar garam yang lebih baik mencapai 80% [4]. Pada penelitian ini akan dipelajari lebih jauh tentang penambahan membran pada karbon aktif dengan melakukan

perbandingan hasil pengukuran terhadap kemampuan kadar garam sel CDI menggunakan membrane dan sel CDI tanpa menggunakan membrane pada debit rendah, yaitu 10 ml/menit. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari pengaruh elektroda karbon aktif yang ditambah dengan membrane SSA terhadap kemampuan pengurangan kadar garam.

II. KAJIAN TEORI

A. Prinsip *Capacitive Deionization (CDI)*

Capacitive Deionization merupakan salah satu teknologi alternative proses desalinasi yang saat ini banyak dikembangkan. Studi awal teknologi ini bermula dari Caudle et.al yang menggunakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang dialiri arus untuk desalinasi air [2]. Metode ini memanfaatkan prinsip dasar kapasitor untuk menghilangkan ion terlarut. Semakin besar kapasitasnya maka semakin besar kemampuan CDI untuk menyimpan muatan (ion-ion) sehingga kadar garam air laut dapat berkurang.



GAMBAR 1
PENYUSUN SEL CDI

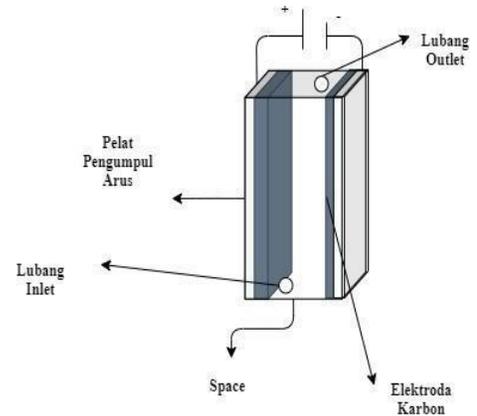
Gambar 1 menunjukkan material penyusun sel CDI dengan elemen-elemen sebagai berikut:

1. Elektroda, merupakan elemen terpenting dalam proses pembuatan sel CDI. Maka dari itu material elektroda harus bersifat konduktif, mempunyai sifat penyerapan yang baik, harga terjangkau, dan porositasnya tinggi. Luas permukannya harus besar karena mempengaruhi tingkat daya serap terhadap ion. Salah satu jenis bahan elektroda yang secara luas telah digunakan adalah karbon aktif, karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar, ketahanan kimia, dan mudah dibuat. Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan sangat besar karena hanya dengan satu gram karbon aktif, akan didapatkan suatu material dengan luas permukaan lebih dari 1000 m²/g [1]. Kemampuan penyerapan ion-ion garam berasal dari pori-pori yang terbentuk akibat proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif memiliki beberapa fungsi seperti menjernihkan air, industri minuman, dan katalisator. Contoh bahan karbon aktif seperti tempurung kelapa, kayu, tempurung kemiri, dan lain-lain.
2. Pelat Pengumpul Arus
Pelat pengumpul arus berfungsi sebagai substrat yang menerima arus dari elektroda karbon. Pelat pengumpul arus dapat berupa aluminium, tembaga, nikel, dan

stainless steel. Pelat aluminium merupakan salah satu material logam ringan dan kuat yang mudah dalam pengerjaan dan perawatannya yang berbentuk lembaran. Memiliki daya tahan karat yang baik, mudah mengikat karbon, tahan terhadap perubahan temperatur, dan memiliki konduktivitas yang tinggi. Karena karakteristik tersebut maka aluminium dipilih sebagai pelat pengumpul arus.

3. Material konduktif

Material konduktif yang digunakan adalah lem karbon. Karena lem karbon mengandung



nanopartikel perak maupun tembaga yang dapat menghantarkan listrik.

B. Membran Penukar Ion

GAMBAR 2
PRINSIP KERJA MEMBRAN SEL CDI

Membran Penukar Ion adalah membran semipermeable yang mengangkut ion terlarut tertentu dengan mencegah ion lain atau molekul netral. Membran penukar ion adalah salah satu jenis membran yang termasuk dalam golongan yang *driving force*nya adalah beda potensial listrik, dan kerap digunakan dalam aplikasi desalinasi. Proses pemindahan ion pada membran penukar ion terjadi karena permselectivitas dari membran penukar ion, kimia, dan beda potensial listrik. Membran penukar ion terbuat dari material polimer yang tergabung dengan ion-ion bermuatan. Banyak cara untuk memproduksi material membran yang cocok dan banyak tipe yang berbeda di pasaran, *range* ketebalan sekitar (0,15 - 0,56) mm. Membran ini diharapkan memiliki resistansi elektrik yang rendah, berstruktur mekanis yang kuat, stabil secara kimia dan bentuk, memiliki permselectivitas yang tinggi. Membran penukar ion memiliki sifat-sifat yang ditentukan berdasarkan material pembentuk, konsentrasi dan tipe dari *fixed* ion. Ion-ion yang sering digunakan sebagai muatan tetap di dalam membran penukar ion adalah

SO_3^- dan $-\text{COO}^-$ untuk membran penukar kation. Untuk membran penukar anion, digunakan $-\text{N}^+\text{HR}_2$ dan $-\text{N}^+\text{R}_3$ [5].

Membran penukar anion mampu meloloskan anion dan

menahan kation. Sedangkan membran penukar kation bersifat selektif permeable terhadap kation sehingga dapat menangkap ion positif. Membran penukar ion biasanya terbuat dari hasil polimerisasi styrene dan divinil benzene, membran ini dapat melepaskan gugus kation/anion pada larutan garam dan kemudian mengikat ion Na/Cl pada larutan garam. Ion-ion yang tersimpan pada elektroda diharapkan tidak akan terlepas lagi menuju larutan garam, sehingga efisiensi pengurangan kadar garam dapat ditingkatkan. Ion-ion negatif akan diikat oleh membran kation secara bersamaan dan melepas ion OH menuju aliran air yang disebabkan oleh adanya penambahan membran kation.

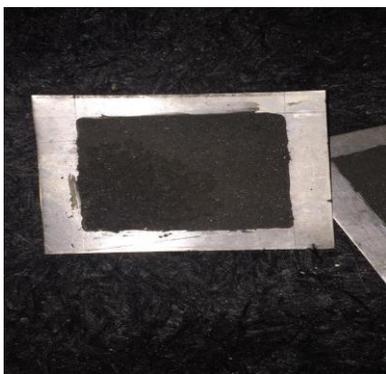
Pada penelitian ini, membran SSA berfungsi sebagai material tambahan pada elektroda karbon aktif untuk menghasilkan ion negatif. Membran SSA termasuk dalam kelompok pertukaran yang dapat meningkatkan kinerja pada sistem CDI. Hal ini terbukti dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan membran penukar ion dapat menghasilkan 75-85% pengurangan garam.

III. METODE

A. Pembuatan Membran Anion/Kation

Pembuatan membran penukar ion dapat dilakukan dengan menambah SSA pada permukaan elektroda karbon aktif. Pembuatan membran SSA dilakukan dengan mengoleskannya diatas salah satu permukaan karbon aktif dan dipanaskan diatas tempat panas dengan temperatur 110°C selama 1 jam [6].

B. Pembuatan Sel CDI



GAMBAR 3
PEMBUATAN SEL CDI

Proses pembuatan sel CDI ini dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif dengan membran SSA dan CMC yang sebelumnya telah dilarutkan dalam aquades dengan variasi perbandingan ketiganya sama besar lalu dicetak di atas pelat aluminium. Membran SSA dan CMC diaduk dalam larutan aquades bersamaan menggunakan strirrer dengan kecepatan rendah agar material tercampur sama besar secara homogeny. Variasi binder yang terdapat dalam penelitian ini yaitu lem karbon dan CMC. Kedua sisi sel memiliki variasi yang berbeda, karbon aktif dengan campuran membran SSA dan CMC hanya digunakan di salah satu sel sedangkan sel lainnya hanya

variasi karbon aktif dan lem karbon. Setelah adonan dengan konsentrasi dengan ukuran (5x5) cm dan ukuran plat 7x7 cm. dan perbandingan karbon aktif, membran SSA dan CMC yang merupakan hasil dari tahap sebelumnya akan dicetak pada kolektor arus atau pelat aluminium. Adapun elektroda yang dibuat berdasarkan variasi ketebalan 3 mm.

Struktur sel CDI terdiri dari dua elektroda yang dilapisi oleh pelat aluminium yang jarak diantara keduanya berfungsi sebagai ruang proses desalinasi. Lalu elektroda tersebut dicetak pada pelat aluminium yang disusun secara berhadapan dengan jarak 3 mm diantara keduanya. Lalu bagian bawah sel CDI diberi lubang *inlet* untuk tempat masuknya air laut dan bagian atas sel CDI diberi lubang *outlet* untuk tempat keluar air hasil desalinasi. Ukuran *inlet* dan *outlet* disesuaikan dengan diameter selang yang terhubung dengan wadah penampung larutan NaCl. Lalu sel CDI dihubungkan dengan tegangan DC 1,2 V, selang dan wadah yang terhubung ke lubang *inlet* berfungsi sebagai penampung air laut dan ada gelas ukur untuk menampung air hasil desalinasi dan pengukuran TDS Meter.

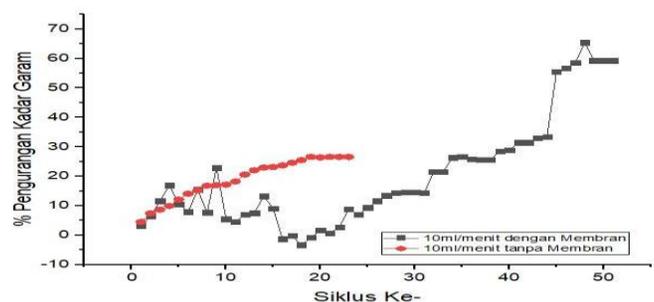
C. Pembuatan Elektroda

Pembuatan elektroda dimulai dengan pencampuran material elektroda, yaitu karbon aktif, 0,01 gram membran SSA, 0,01 gram CMC, dan 5 ml akuades. Membran SSA, CMC, dan akudes dilarutkan terlebih dahulu. Setelah campuran larut, dilanjutkan dengan mengoleskan campuran tersebut ke atas plat aluminium yang telah dilapisi dengan lem karbon dan karbon aktif. Lalu dipanaskan pada suhu 110°C selama 1 jam. Setelah itu diatur ketebalan elektroda yang telah terbentuk agar sesuai dengan ketentuan awal, yaitu 3 mm. Jika ketebalan elektroda telah sesuai maka dua elektroda mulai dirakit dengan jarak 3 mm sebagai *space* untuk tempat mengalirnya air. Pengukuran menggunakan sel CDI siap dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengurangan kadar garam pada larutan NaCl dengan menggunakan metode CDI pada penelitian ini membandingkan hasil pengukuran antara sel CDI dengan membran dan sel CDI tanpa membran. Analisis pengurangan kadar garam pada sel CDI didapat dari hasil pengukuran dan pengolahan data konduktivitas pada larutan NaCl.

A. Hasil Uji Desalinasi Sel CDI



GAMBAR 4
GRAFIK % BESAR PENGURANGAN KADAR GARAM

Gambar 4 menunjukkan perbandingan besar pengurangan kadar garam antara sel CDI menggunakan membran dan sel CDI tanpa menggunakan membran pada debit 10 ml/menit. Berdasarkan grafik terlihat bahwa sel CDI dengan variasi membran memiliki daya penyerapan kadar garam yang lebih tinggi dibandingkan dengan sel CDI tanpa variasi membran.

TABEL 1
HASIL PENGURANGAN KADAR GARAM PADA LARUTAN
NACL DENGAN MEMBRAN SSA

Variasi	Pengurangan kadar garam pada debit 10 ml/menit	
	Menggunakan Membran SSA	Tanpa Menggunakan Membran SSA
Jumlah Pengurangan (%)	59,30%	26,58%
Jumlah Siklus	55	23

Berdasarkan tabel 1 diperoleh hasil pengurangan larutan kadar garam NaCl paling tinggi terjadi pada variasi sel CDI membran dengan debit 10 ml/menit yaitu sebesar 59,30% dalam 55 siklus. Sedangkan sel CDI tanpa variasi membran tingkat pengurangan kadar garamnya lebih rendah, yaitu sebesar 26,58% dalam 23 siklus. Maka dari itu sel CDI dengan membran SSA memiliki kemampuan penyerapan kadar garam lebih baik dibandingkan yang hanya menggunakan karbon aktif. Penggunaan membran SSA ini juga dapat meningkatkan kemampuan sel CDI untuk mencapai desalinasi maksimum.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan dari hasil pengujian, yaitu variasi membran SSA pada sel CDI dapat mempengaruhi jumlah pengurangan kadar garam pada larutan NaCl. Hal ini terbukti dari data hasil pengujian yang diperoleh, yaitu pengurangan kadar garam pada sel CDI menggunakan membran dengan debit 10 ml/menit sebesar 59,30% dalam 55 siklus, sedangkan sel CDI tanpa membran memiliki tingkat pengurangan kadar garam pada debit 10 ml/menit sebesar 26,58% dalam 23 siklus.

Pengembangan sistem desalinasi yang lebih berfokus pada debit rendah dengan menggunakan karbon aktif yang luas permukaan spesifik yang lebih besar dengan penambahan membrane SSA diperlukan untuk penelitian lanjutan. Selain itu, untuk menjaga laju aliran air agar siklus yang dihasilkan tetap stabil juga diperlukan, sehingga tidak mempengaruhi konsistensi siklus yang dihasilkan. Untuk penelitian lanjutan juga perlu meningkatkan standarisasi pembuatan sel CDI agar karbon tidak mudah lepas ketika terkena air pada awal desalinasi dan tidak mudah bocor.

REFERENSI

- [1] I. Himmaty and Endarko, "Pembuatan Elektroda Dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization Untuk Mengurangi Kadar Garam Pada Larutan Sodium Clorida (Nacl)," *Berk. Fis.*, vol. 16, no. 3, pp. 67-74-74, 2013.
- [2] I. Fatimah and Endarko, "Fabrikasi dan Karakterisasi Elektroda untuk Sistem *Capacitive Deionization* (CDI) pada Proses Desalinasi Larutan NaCl dengan Metode *Freezing-Thawing*," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 01, no. 02, pp. 137-144, 2013. [dx.doi.org/10.23960%2Fjtaf.v1i2.957](https://doi.org/10.23960%2Fjtaf.v1i2.957)
- [3] D. H. Eryati, M. Rosi, and I. P. Handayani, "Fabrikasi Elektroda Karbon Nanopori Untuk *Capacitive Deionization*," *eProceedings Eng.*, vol. 3, no. 2, 2016, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/651>.
- [4] C. Siregar, M. Rosi, E. Wibowo, F. T. Elektro, and U. Telkom, "Desalinasi Air Laut Menjadi Air Tawar Menggunakan Teknologi Capacitive," Telkom University, 2020.
- [5] S. Redjeki, "Proses Desalinasi Dengan Membran," *Proses Desalinasi Dengan Membr.*, vol. Direktorat, p. 215, 2011.
- [6] M. F. Dewi, "Variasi Komposisi Elektroda Karbon Nanopori Untuk Aplikasi CDI," *מים והשקיה*, vol. 549, pp. 40-42, 2017.