

Silika Sebagai Material Penukar Ion pada Elektroda CDI: Efek Ketebalan Terhadap Kapasitansi dan Kemampuan Desalinasi

Arninda Anawai ¹⁾, Rahmi ¹⁾, Muhammad Anas ^{1)*}, Erniwati ¹⁾

¹⁾Jurusan Pendidikan Fisika FKIP, Universitas Halu Oleo, Jl. HEA Mokodompit Kendari, Indonesia

Diterima : 2 November 2023

Direvisi : 16 November 2023

Disetujui : 28 November 2023

Abstrak

Salah satu metode desalinasi adalah capacitive deionization (CDI). CDI terdiri dari elektroda arang aktif, dan untuk meningkatkan kinerjanya perlu adanya lapisan penukar ion pada permukaan elektroda. Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai adsorben penukar ion adalah silika. Penelitian ini untuk mengetahui efek ketebalan silika sebagai material penukar ion pada elektroda CDI terhadap kapasitansi dan kemampuan desalinasi air laut. Elektroda arang aktif terbuat dari cangkang kemiri kemudian penukar ion dibuat dengan mencampur 9 gr silika, 1 gr Polyvinyl Alcohol (PVA) lalu dilarutkan dalam 15 ml alkohol dan diaduk menggunakan magnetic stirrer sampai membentuk bubur, lalu dicetak dengan ukuran 30 mm × 30 mm ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm di atas elektroda arang aktif ketebalan 10 mm lalu dikeringkan dengan oven pada temperatur 70°C selama ± 1 jam. Proses Kapasitansi ditentukan dengan rangkaian RC (Resistor Capacitor) yang dihubungkan dengan osiloskop serta proses desalinasi menggunakan metode CDI yang tersusun dari sepasang elektroda, dua buah kolektor, dan satu buah separator yang diberi beda potensial sebesar 1,5 V. Pengukuran salinitas menggunakan Handrefractometer dan konduktivitas menggunakan Conductivity meter. Ketebalan penukar ion 1 mm, 2 mm, dan 3 mm memiliki hasil nilai kapasitansi masing-masing diperoleh sebesar 6,928 $\square$ 10⁻¹⁰ F, 6,318 $\square$ 10⁻¹⁰ F, dan 5,417 $\square$ 10⁻¹⁰ F. Untuk hasil salinitas diperoleh sebesar 6 ‰, 6 ‰, dan 10 ‰ dan untuk hasil konduktivitas diperoleh sebesar 2,49 mS/cm, 2,58 mS/cm, dan 6,32 mS/cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan penukar ion yang lebih tipis mengalami kenaikan nilai kapasitansi, penurunan salinitas dan konduktivitas tertinggi dibandingkan dengan ketebalan penukar ion yang lain. Efek variasi ketebalan mempengaruhi tinggi rendahnya nilai kapasitansi kemudian hasil salinitas mencapai 6 ‰ untuk ketebalan 1 mm dan 2 mm dan nilai konduktivitas 2,49 mS/cm untuk ketebalan 1 mm. Hal ini menunjukkan bahwa air yang dihasilkan masih dalam kategori air payau.

Kata kunci: Capacitive Deionization, Desalinasi, Kapasitansi, Ketebalan Penukar Ion, dan Silika

Silica as an Ion Exchange Material in CDI Electrodes: Effect of Thickness on Capacitance and Desalination Capability

Abstract

One method of desalination is capacitive deionization (CDI). CDI consists of activated charcoal electrodes, and to improve its performance it is necessary to have an ion exchange layer on the electrode surface. One natural material that can be used as an ion exchange adsorbent is silica. This research is to determine the effect of silica thickness as an ion exchange material on CDI electrodes on the capacitance and desalination ability of seawater. Activated charcoal electrodes are made from candlenut shells, then an ion exchanger is made by mixing 9 grams of silica, 1 gram of Polyvinyl Alcohol (PVA) then dissolved in 15 ml of alcohol and stirred using a magnetic stirrer until it forms a slurry, then molded with a size of 30 mm × 30 mm with a thickness of 1 mm, 2 mm, and 3 mm on a 10 mm thick activated charcoal electrode then dried in an oven at 70°C for ± 1 hour. The capacitance process is determined using an RC (Resistor Capacitor) circuit connected to an oscilloscope and the desalination process uses the CDI method which is composed of a pair of electrodes, two collectors and a separator which is given a potential difference of 1.5 V. Measurement of salinity using a Handrefractometer and conductivity using a conductivity meter. Ion exchange thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 3 mm have capacitance values of 6.928 $\square$ 10⁻¹⁰ F, 6.318 $\square$ 10⁻¹⁰ F, and 5.417 $\square$ 10⁻¹⁰ F respectively. For salinity results obtained are 6 ‰, 6 ‰, and 10 ‰ and the conductivity results obtained were 2.49 mS/cm, 2.58 mS/cm, and 6.32 mS/cm. The research results showed that using a thinner ion exchanger resulted in an increase in capacitance values, a decrease in salinity and the highest conductivity compared to the thickness of other ion exchangers. The effect of variations in thickness affects the high and low capacitance values, then the salinity results reach 6 ‰ for thicknesses of 1 mm and 2 mm and the conductivity value is 2.49 mS/cm for a thickness of 1 mm. This shows that the water produced is still in the brackish water category.

Keywords: Capacitive Deionization, Desalination, Capacitance, Ion Exchange Thickness, and Silica

PENDAHULUAN

Mengingat pentingnya air dalam kehidupan manusia, maka penyediaan air tawar perlu diupayakan secara optimal (Astuti, 2020). Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif sumber air bersih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Sumber air yang paling berpotensi sebagai alternatif sumber air bagi masyarakat

* Korespondensi penulis, e-mail: m.anas@uho.ac.id

adalah air laut karena jumlahnya yang sangat besar dan sanggup menutupi 71% permukaan Bumi. Akan tetapi, air laut tidak dapat digunakan secara langsung karena memiliki kadar garam tinggi yaitu sekitar 3,5% (Misbah, 2010). Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang hemat energi dan harga terjangkau untuk dapat mendesalinasi air laut, sehingga air laut dapat diubah menjadi air tawar yang bersih dan layak dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari (Astuti, 2015).

Desalinasi adalah proses menghilangkan kadar garam berlebihan dalam air laut untuk mendapatkan air tawar yang dapat dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari (Humplik et al, 2011). Saat ini metode desalinasi yang sudah dikembangkan adalah Capacitive Deionization (CDI). CDI banyak 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 (Himmaty, 2013). Dibandingkan dengan metode lain seperti Electrodialysis (ED), Reverse Osmosis (RO), Multi-Stage Flash Evaporation (MSF), dan Vapor Compression Distillation (VCD). Metode tersebut memiliki kelemahan energi yang signifikan dan biaya operasi yang tinggi (Anderson et al, 2010). Teknologi CDI memiliki keunggulan yaitu pengeluaran daya listrik yang sedikit sebesar 1,5 V, biaya perawatan yang minimum, dan memiliki kemampuan penyerapan kadar garam yang tinggi yaitu 80% (Putra, 2021).

Faktor penting yang menentukan kinerja CDI salah satunya yaitu ketebalan elektroda, ketebalan elektroda karbon menjadi faktor penentu agar ion dapat berdifusi melalui lubang-lubang pori, apabila ketebalan elektroda karbon semakin tipis, maka akan semakin memudahkan ion-ion untuk berdifusi (Burke, 2000). Metode CDI dilakukan dengan mengalirkan air laut melewati celah diantara elektroda yang diberi beda potensial sehingga terjadi penyerapan ion positif dan negatif secara elektrostatik pada permukaan elektroda (Astuti, 2020). Elektroda pada sistem CDI merupakan salah satu faktor paling penting untuk meningkatkan kinerja CDI terutama untuk efisiensi desalinasi (Lee et al, 2012). Bahan elektroda yang banyak digunakan ialah karbon aktif (Astuti, 2016). Pengembangan karbon aktif sebagai bahan elektroda pada sistem CDI dikarenakan daya adsorpsinya yang baik (Kadang et al, 2020). Karbon aktif banyak digunakan untuk menjernihkan air, pemurnian gas, industri minuman, farmasi, katalisator, dan pada bidang kesehatan juga dimanfaatkan sebagai obat penawar bisa, dan obat anti racun (Sapri, 2016).

Penelitian tentang metode CDI untuk desalinasi air laut telah dilakukan oleh Astuti (2015) dengan memperoleh hasil penurunan kadar natrium sebesar 61,58%. Wardani (2015) menyatakan bahwa dengan mengkombinasikan CDI dengan membran penukar ion maka mampu meningkatkan efisiensi penghilangan ion dan mampu menghilangkan kadar garam dan ion terlarut dalam air. Permatasari (2022) menyatakan bahwa membran penukar ion pada sel CDI dapat mempengaruhi jumlah pengurangan kadar garam pada larutan NaCl. Pertukaran ion adalah proses fisika-kimia. Pada proses tersebut senyawa yang tidak larut, dalam hal ini resin menerima ion positif atau ion negatif tertentu dari larutan dan melepaskan ion lain ke dalam larutan tersebut dalam jumlah ekuivalen yang sama (Nurhayati, 2015). Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai adsorben penukar ion adalah silika (Mulyasuryani et al, 2013). Silika sering kali dimodifikasi dengan gugus organik tertentu untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Hal ini dikarenakan silika memiliki beberapa sifat unik yang tidak dimiliki oleh senyawa anorganik lainnya, seperti inert, sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya, kestabilan mekanik dan termal tinggi, serta dapat digunakan untuk preconsetrasi atau pemisahan analit karena proses pengikatan analit pada permukaan silika yang bersifat reversibel (Krismastuti, 2008). Silika yang berasal dari alam selain terdapat pada abu sekam padi juga terdapat pada lumpur (Fadli et al, 2013). Lumpur mengandung banyak unsur silika, seperti pada lumpur teluk Kendari menghasilkan unsur silika sebesar 61,952% (Munasti, 2019). Silika pada suatu material belum dalam keadaan murni sehingga harus dimurnikan terlebih dahulu. Salah satu proses pemurnian silika dapat dilakukan dengan metode leaching (pemisahan) biasanya dilakukan dengan pelarut asam klorida (HCl) (Yudhistia, 2018).

Penelitian Zhang dan Reible (2020) dengan memvariasikan ketebalan penukar ion 0,2 mm, 0,25 mm, dan 0,3 mm mampu menurunkan kadar garam secara berturut-turut sebesar 80,89 %, 80,78%, dan 80,64%. Hal ini menunjukkan bahwa komposit elektroda-penukar ion tipis dengan resistansi rendah dapat menjadi alternatif yang menguntungkan untuk penukar ion komersial dan dengan meningkatkan kerapatan muatan tetap penukar ion dengan meningkatkan penyimpanan ion dalam markopori elektroda mampu mencapai efisien penghilangan kadar garam yang lebih baik. Penelitian Yanuar et al (2010) tentang pengaruh ketebalan elektroda terhadap nilai kapasitansi dengan memvariasikan ketebalan elektroda 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, 0,75 mm, dan 1 mm memperoleh nilai kapasitansi secara berturut-turut sebesar 24,62 F/gr, 24,78 F/gr, 97,00 F/gr, 111,39 F/gr, 102,42 F/gr, dan 80,78 F/gr. Hal ini dipengaruhi oleh proses difusi/penyerapan pori. Dapat disimpulkan bahwa ketebalan elektroda berpengaruh pada nilai

kapasitansi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek ketebalan silika sebagai material penukar ion pada elektroda CDI terhadap kapasitansi dan kemampuan desalinasi air laut

METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi silika sebagai material penukar ion pada elektroda CDI efek ketebalan terhadap kemampuan desalinasi. Cangkang kemiri diperoleh dari Kecamatan Wawotobi, Kabupaten Konawe. Proses karbonasi cangkang kemiri dilakukan di lapangan terbuka di sekitar kampus Universitas Halu Oleo. Proses aktivasi dilakukan di laboratorium Nanoteknologi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Halu Oleo. Pembuatan elektroda dilakukan di laboratorium Nanoteknologi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Halu Oleo. Pengambilan Sampel air laut diambil di sekitar Teluk Kendari, lebih tepatnya pada kelurahan Bungkutoko, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara. Proses desalinasi dengan metode CDI dilakukan di laboratorium pengembangan Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Halu Oleo, Kendari. Pengujian air hasil desalinasi dilakukan di laboratorium Biomolekuler dan Lingkungan FMIPA Universitas Halu Oleo, Kendari.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor pirolisis, tanur listrik, neraca digital, plastik sampel, Erlenmeyer, tumpang alu dan mortar, ayakan, gelas ukur, thermometer infared, mistar, kertas saring, batang pengaduk, kaos tangan, cawan porselin, pipet ukur, gegep, tissue, multimeter, kabel penghubung, osiloskop, conductivity meter, handrefractometer, kertas pH, power supply, pipet, botol sampel, cetakan kaca, pelat aluminium. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang kemiri, lumpur, larutan H_3PO_4 , PVA (polyvinyl alcohol), alkohol, aquades, air laut. Prosedur penelitian sebagai berikut:

Pembuatan Arang Aktif

- a. Tahap Persiapan Bahan Baku
Cangkang kemiri diperoleh dari Kecamatan Wawotobi, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. Kemudian cangkang kemiri dibersihkan dengan dicuci menggunakan aquades untuk membersihkan dari kotoran seperti, sisa-sisa daging buah kemiri dan tanah hingga bersih dan dikeringkan dengan cara di jemur dibawah sinar matahari.
- b. Tahap Karbonasi
Karbonasi bahan baku dilakukan dengan menggunakan reaktor pirolisis dengan temperatur $400^{\circ}C$ selama ± 8 jam.
- c. Tahap Penggerusan dan Pengayakan
Karbon digerus dan diayak dengan saringan masing-masing 200 mesh.
- d. Tahap Aktivasi
Aktivasi dilakukan secara kimia dengan agent aktivasi H_3PO_4 67%. Arang aktif sebanyak 72 g direndam dalam 100 ml H_3PO_4 dengan waktu kontak 24 jam. Selanjutnya dipanaskan dalam tanur listrik dengan temperatur $700^{\circ}C$ selama 1 jam.

Ekstrak Silika Dari Lumpur

Lumpur teluk Kendari dibersihkan terlebih dahulu, lalu dicuci dengan aquades. Kemudian disaring dengan saringan untuk menghilangkan kotoran yang terdapat dalam lumpur. Lalu dikeringkan/dijemur dibawah sinar matahari. Lalu digerus dengan mortar dan diayak dengan ayakan 200 mesh. Selanjutnya lumpur yang lolos ayakan tersebut dijadikan sampel.

Membuat larutan HCl dengan konsentrasi 6 M sebanyak 150 mL. Memasukan larutan HCl dengan konsentrasi 6 M dan sampel 10 g di dalam wadah/gelas ukur, kemudian diletakkan di magnetic stirrer dengan mengatur temperatur $100^{\circ}C$ disertai pengadukan dengan kecepatan 300 rpm selama 5 jam. Kemudian dipisahkan dari fitrat menggunakan kertas saring. Hasil endapan dicuci dengan aquades lalu dikeringkan dalam oven.

Pembuatan Elektroda CDI

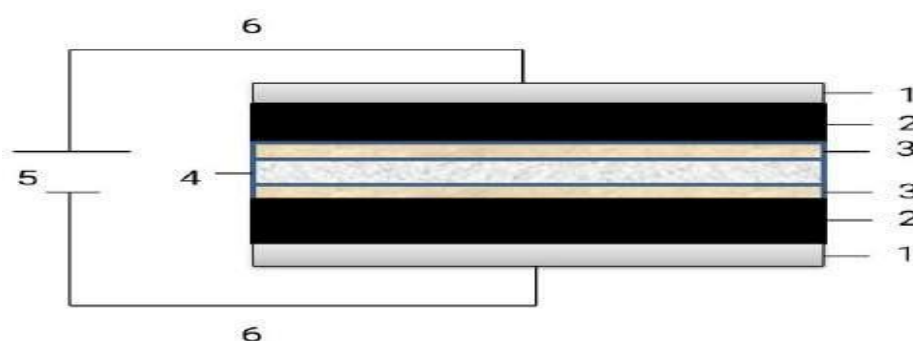
- a. Pembuatan Elektroda Karbon
Elektroda karbon dibuat dalam gelas ukur dengan mencampur 9 gr arang aktif, 1 gr polyvinyl alcohol (PVA) dan 15 ml alkohol, kemudian diletakkan di magnetic stirrer dengan mengatur temperatur $70^{\circ}C$ disertai pengadukan dengan kecepatan 300 rpm sampai membentuk bubur. Bubur lalu dituang dalam wadah dari kaca berukuran (3 cm×3 cm dan ketebalan 10 mm) dan dikeringkan dengan oven pada temperatur $70^{\circ}C$.

b. Pembuatan Penukar Ion

Penyerap ion dibuat dengan mencampur 9 gr silika, 1 gr polyvinyl alcohol (PVA) dan 15 ml alkohol, kemudian diletakkan di magnetic stirrer dengan mengatur temperatur 70°C disertai pengadukan dengan kecepatan 300 rpm sampai membentuk bubur. Bubur lalu dituang dalam wadah dari kaca berukuran (3 cm×3 cm dan ketebalan 1 mm, 2 mm, 3 mm) dan dikeringkan dengan oven pada temperatur 70°C .

Rangkaian Sistem Capacitive Deionization (CDI)

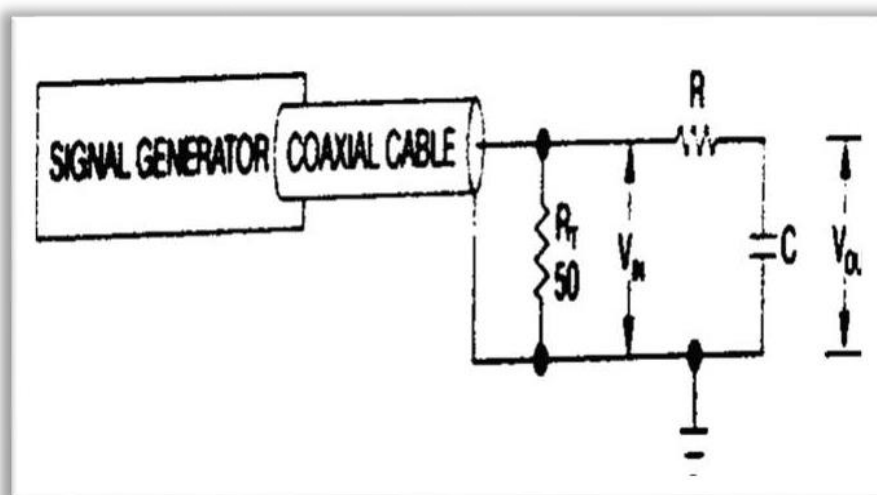
Sistem capacitive deionization ini dirancang dengan menggunakan 2 buah elektroda, 2 kolektor aluminium dan 1 separator sebagai pembatas antara 2 elektroda. Separator yang digunakan yakni fiberglass dengan tebal 2 mm. Kemudian ketiga komponen yaitu elektroda, kolektor, dan separator disusun seperti gambar 1. Kemudian dirapatkan menggunakan gabus untuk menyatukan semua komponen dan berfungsi sebagai batas agar aliran air laut berjalan pada kanal tanpa ada kebocoran. Sistem capacitive deionization dihubungkan dengan memberi beda potensial sebesar 1,5 V.



Gambar 1. Susunan Capacitive Deionization (CDI)

Proses Pengukuran Kapasitansi

Kapasitansi ditentukan melalui pengukuran tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) dengan signal generator sebagai sumber frekuensi dan osiloskop untuk melihat bentuk gelombang masukan dan keluaran. Frekuensi masukan dan keluaran divariasikan dari 100 Hz hingga 1000 Hz dan menggunakan hambatan $2400\text{ k}\Omega$, disusun seperti gambar 2.

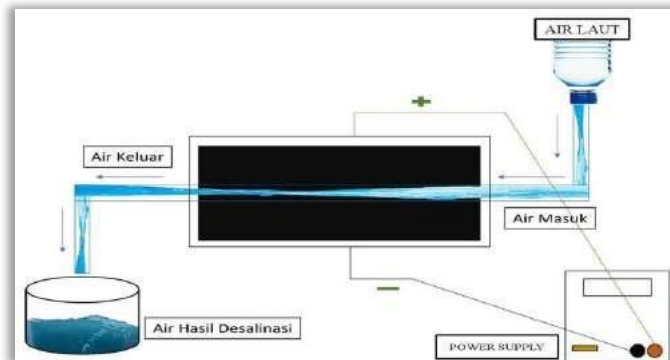


Gambar 2. Proses Uji Kapasitansi

Proses Desalinasi

- Sampel air laut diukur salinitas awalnya menggunakan handrefractometer dan diukur konduktivitas awalnya menggunakan conductivity meter.

- b. Kemudian sampel air laut dimasukkan ke dalam wadah penampungan sebanyak 100 ml dialirkan ke sistem perangkat CDI. Debit air yang masuk ke dalam perangkat CDI yaitu 10 ml/menit dengan 10 siklus dalam waktu 1 jam 40 menit.



Gambar 3. Proses Desalinasi

- c. Selanjutnya, ketika air laut mengalir di dalam perangkat, ion-ion garam akan diserap oleh permukaan sel elektroda. Setelah air laut dialirkan dalam perangkat CDI, maka perangkat CDI harus dicuci/dibilas dengan aquades untuk membersihkan elektroda dari sisa-sisa air laut atau menetralkan kembali elektroda sebelum melanjutkan untuk siklus berikutnya.

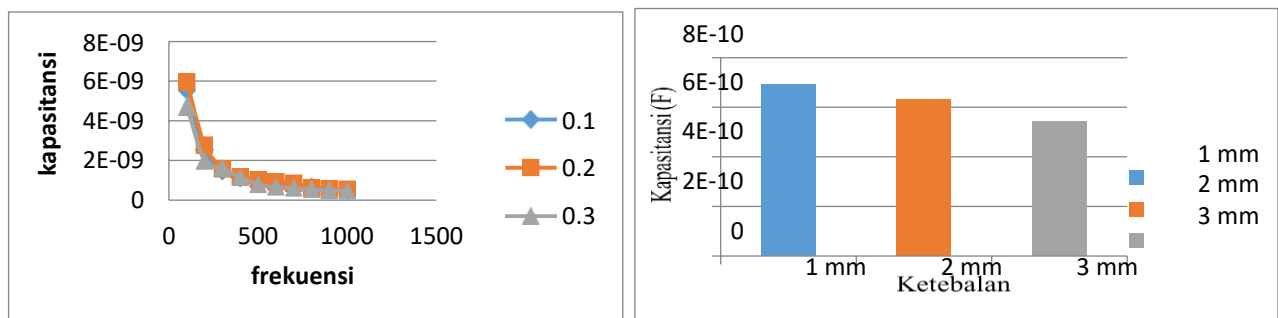
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran kapasitansi silika sebagai penukar ion pada elektroda CDI dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Kapasitansi

No.	Kode Sampel	f (Hz)	R (Ω)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	C (F)
1.	Penukar Ion 1 mm	800	240000	3,44	2,64	6,928 $\times 10^{-10}$
2.	Penukar Ion 2 mm			3,52	2,80	6,318 $\times 10^{-10}$
3.	Penukar Ion 3 mm			3,44	2,88	5,417 $\times 10^{-10}$

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara frekuensi dan kapasitansi pada berbagai ukuran ketebalan penukar ion.



(a)

(b)

Gambar 4. (a) Hubungan antara frekuensi dan kapasitansi pada berbagai ukuran ketebalan silika dan (b) Perbandingan nilai kapasitansi ketebalan silika 1 mm, 2 mm, dan 3 mm.

Gambar 4a menunjukkan frekuensi terbaik berdasarkan analisis Gambar 4b Randall (2016) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa untuk daerah frekuensi sepanjang daerah 600-1000, bahwa perubahan frekuensi sangat kecil jika dibandingkan nilai yang lain selain itu grafik terlihat konstan. Sehingga frekuensi

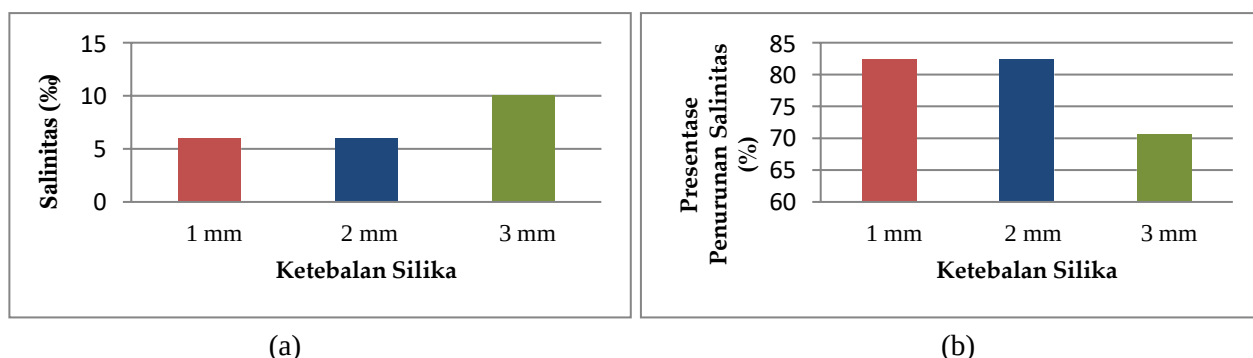
yang digunakan yakni 800 Hz. Melalui grafik batang pada gambar 4b nilai kapasitansi masing-masing dari variasi ketebalan dengan frekuensi 800 Hz menunjukkan tinggi rendahnya nilai kapasitansi yang didapatkan dari masing masing variasi ketebalan silika.

Data hasil penelitian salinitas dan konduktivitas sampel air laut sebelum dan setelah melalui proses desalinasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Salinitas dan Konduktivitas

No.	Kode Sampel	Salinitas (%)	Penurunan Salinitas (%)	Konduktivitas (mS/cm)	Penurunan Konduktivitas (%)
1.	Air laut sebelum desalinasi	34		38,10	
2.	Air laut setelah desalinasi				
	a. Tanpa Penukar Ion	12	64,70	11,45	69,94
	b. Penukar ion 1 mm	6	82,35	2,49	93,46
	c. Penukar Ion 2 mm	6	82,35	2,58	93,22
	d. Penukar Ion 3 mm	10	70,60	6,32	83,41

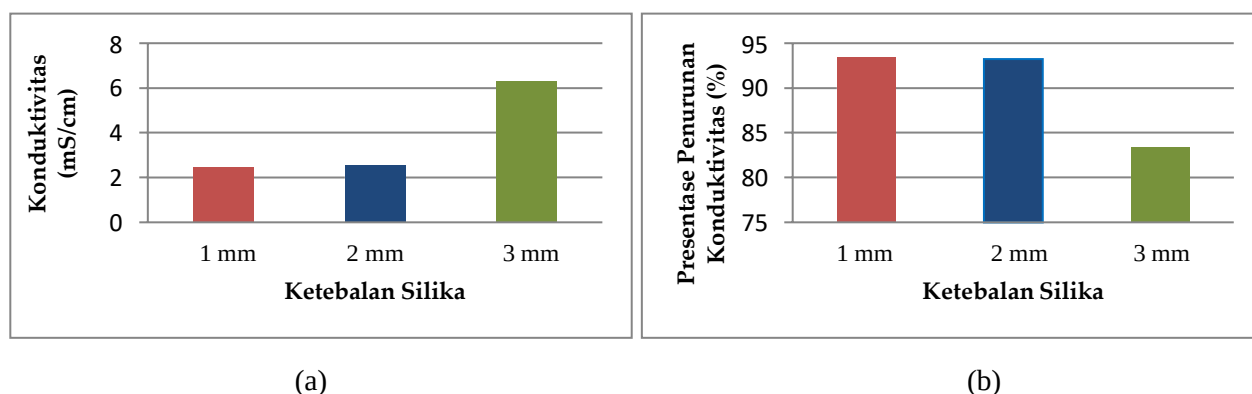
Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan ketebalan elektroda dengan salinitas dan presentase penurunan salinitas.



Gambar 5. Hubungan Efek Ketebalan Penukar Ion terhadap (a) Salinitas dan (b) Presentase Penurunan Salinitas Setelah Desalinasi

Gambar 5a menunjukkan nilai salinitas tanpa silika yaitu sebesar 12 %. Setelah ditambahkan silika maka nilai salinitas yang diperoleh cenderung semakin turun pada ukuran ketebalan silika 1 mm. Dimana sebelum desalinasi salinitasnya yaitu 34 %, setelah desalinasi nilai salinitas pada ketebalan silika 1 mm yaitu 6 %, sedangkan pada ukuran ketebalan silika 3 mm terjadi penurunan dari 34 % menjadi 10 %. Gambar 5b menunjukkan presentase penurunan salinitas tertinggi pada ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu 82,35% dan penurunan salinitas terendah terjadi pada ukuran ketebalan silika 3 mm yaitu 70,60%.

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan ketebalan elektroda dengan konduktivitas dan presentase penurunan konduktivitas.



Gambar 6. Hubungan Efek Ketebalan Penukar Ion terhadap (a) Konduktivitas dan (b) Presentase Penurunan konduktivitas Setelah Desalinasi

Gambar 6a menunjukkan nilai konduktivitas tanpa silika yaitu sebesar 11,45 mS/cm. Setelah ditambahkan penukar ion maka nilai konduktivitas yang diperoleh cenderung semakin menurun pada ukuran ketebalan silika 1 mm. Dimana sebelum desalinasi konduktivitasnya yaitu 38,10 mS/cm, setelah desalinasi nilai konduktivitas pada ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu 2,49 mS/cm. Sedangkan pada ukuran ketebalan silika 3 mm terjadi penurunan dari 38,10 mS/cm menjadi 6,32 mS/cm. Gambar 6b menunjukkan presentase penurunan konduktivitas tertinggi pada ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu 93,46 % dan penurunan konduktivitas terendah terjadi pada ukuran ketebalan silika 3 mm yaitu 83,41 %.

PEMBAHASAN

Kapasitansi (capacitance) adalah kemampuan kapasitor menyimpan energi dalam medan listrik. Kapasitansi bergantung pada ukuran dan bentuk konduktor dan akan bertambah bila ada sebuah material pengisolasi atau dielektrik (Young dan Freedman, 2003). Berdasarkan Tabel 1. data hasil pengukuran untuk perbandingan nilai kapasitansi dengan variasi ketebalan silika, dimana terdapat juga dalam Grafik 5. terlihat bahwa adanya perbedaan nilai, dimana ada tiga variasi ketebalan silika yaitu 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Variasi ketebalan silika yang memiliki nilai tertinggi yaitu ketebalan silika 1 mm memiliki nilai kapasitansi adalah $6,9284 \times 10^{-10}$ F, variasi ketebalan silika yang memiliki nilai tertinggi kedua yaitu ketebalan 2 mm dengan nilai kapasitansi adalah $6,3184 \times 10^{-10}$ F, dan variasi ketebalan silika yang memiliki nilai terendah adalah ketebalan 3 mm dengan nilai kapasitansi adalah $5,4175 \times 10^{-10}$ F. Pada penelitian ini yang mempengaruhi besar kecilnya kapasitansi pada kapasitor ialah ketebalan silika sebagai penukar ion. Semakin tebal penukar ion yang disimpan dimasing masing karbon aktif, semakin kecil nilai kapasitas kapasitor yang dihasilkan. Secara teoritik dapat dijelaskan bahwa semakin besar jarak pisah antara kedua plat sejajar (ketebalan) akan semakin kecil kapasitansi yang dihasilkan, (Jumingin, 2016).

Berdasarkan juga gambar grafik 4.a untuk hubungan kapasitansi dengan frekuensi pada variasi ketebalan penukar ion memperlihatkan bahwa semakin tinggi frekuensi maka nilai kapasitansi akan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan, (Robby, 2013) yang menjelaskan bahwa frekuensi berpengaruh terhadap kapasitansi. Dengan peningkatan frekuensi maka akan semakin banyak gelombang yang ditransmisikan tiap detik, sebelum kapasitor penuh arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan dalam kapasitor dengan cepat. Hal ini mengakibatkan muatan kapasitor semakin berkurang dan kemampuan kapasitor menyimpan muatan semakin kecil.

Hal yang sama juga dijelaskan oleh, (Rajib, 2014) bahwa penggunaan frekuensi yang tinggi akan mengakibatkan nilai kapasitansi rendah karena dipol-dipol tidak dapat mempertahankan penyerahannya pada arus bolak-balik. Penambahan penukar ion pada elektroda tentunya juga menambah massa elektroda, sehingga ketebalan 3 mm mendapatkan nilai kapasitansi yang lebih rendah dibanding ketebalan 1 mm dan 2 mm. Karena massa elektroda juga mempengaruhi besarnya kapasitansi yang dihasilkan, semakin kecil massa elektroda maka kapasitansi yang dihasilkan semakin tinggi begitupun sebaliknya semakin besar massa elektroda maka kapasitansi yang dihasilkan semakin rendah (Taer, et al, 2009).

Nilai kapasitansi antara ketebalan 1 mm, 2 mm dan 3 mm yang terdapat pada tabel 4.b jika dibandingkan masing masing diantaranya sejujurnya tidak terlalu jauh berbeda meskipun begitu tetap ada pengaruh perubahan nilai kapasitansi jika ketebalan penukar ionnya divariasikan. Nilai kapasitansi dalam penelitian ini juga masih terlalu sedikit jika dibandingkan dengan nilai kapasitansi elektroda sebelumnya yang diteliti oleh (Kristin, 2020) sebesar 38,652 F/g dan Mingbo et al (2014) dengan nilai kapasitansi sebesar 144 F/g. Hal ini terjadi karena konstruksi elektroda yang jauh berbeda. Selain itu faktor yang menyebabkan rendahnya nilai kapasitansi yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah perbandingan lama waktu pencampuran perekat dengan sampel. Menurut penelitian Celcilia (2021) bahwa pencampuran perekat dengan sampel yaitu selama kurang lebih 4 jam sehingga hasil yang diperoleh dalam rentan waktu tersebut menjadikan nilai kapasitansinya tinggi dibanding menggunakan rentan waktu yang lainnya. Sedangkan dalam penelitian ini jauh di bawah 1 jam lama pencampurannya menggunakan stirer. Kemudian perbandingan bahan perekat dengan sampel juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi rendahnya hasil kapasitansi yang didapatkan.

Elektroda merupakan elemen terpenting dalam proses pembuatan sel CDI. Maka dari itu material elektroda harus bersifat konduktif, mempunyai penyerapan yang baik, harga terjangkau, dan porositasnya tinggi. Luas permukaannya harus besar karena mempengaruhi tingkat daya serap terhadap ion. Penukar ion 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 penukar ion dapat menghalangi co-ion kembali menuju larutan, (Pramartaningthyas, 2014).

Penambahan silika sebagai penukar ion pada elektroda CDI memiliki pengaruh yang cukup terhadap nilai kapasitansinya, Semakin rapat struktur penukar ion, berarti jarak antar molekul semakin dekat sehingga penukar ion akan memiliki daya tarik atau tembus yang besar (Azizah, 2008). Meskipun begitu pilihan untuk penambahan membran penukar ion pada elektroda CDI membuat perubahan pada nilai kapasitansi menjadi naik, peneliti telah menguji elektroda karbon tanpa membran silika sebagai penukar ion dan hasil yang didapatkan sebesar 3,26 F. Hal ini seperti yang ditulis pada penelitian Pramartaningthyas (2014) bahwa penambahan membran pertukaran ion diantara kedua elektroda meningkatkan kinerja CDI secara signifikan.

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Salinitas air laut yang terukur sebelum desalinasi yaitu 34 ‰, setelah proses desalinasi diperoleh penurunan salinitas pada elektroda tanpa silika sebesar 12 ‰. Setelah ditambahkan silika diperoleh nilai salinitas tertinggi pada elektroda sistem CDI menggunakan ukuran ketebalan silika 1 mm mampu menurunkan hingga 6 ‰. Sedangkan penurunan salinitas terendah terjadi pada elektroda sistem CDI menggunakan ukuran ketebalan silika 3 mm hanya mampu menurunkan hingga 10 ‰. Jika ditinjau dari presentase penurunan salinitas, diperoleh presentase penurunan tertinggi pada ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu sebesar 82,35 % dan presentase penurunan salinitas terendah terjadi pada ukuran ketebalan silika 3 mm yaitu sebesar 70,60 %. Hal ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang (2020) dengan memvariasikan ketebalan silika 0,2 mm, 0,25 mm, dan 0,3 mm mampu menurunkan kadar garam secara berturut-turut sebesar 80,89 %, 80,78%, dan 80,64%. Variasi ketebalan silika pada deionisasi kapasitif memberikan dampak minimal pada siklus dan besarnya efisiensi penyisihan garam maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa komposit elektroda-silika tipis dengan resistansi rendah dapat menjadi alternatif yang menguntungkan untuk silika komersial dan dengan meningkatkan kerapatan muatan tetap silika dengan meningkatkan penyimpanan ion dalam markopori elektroda mampu mencapai efisien penghilangan kadar garam yang lebih baik.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Sari dan Endarko (2016) menunjukkan bahwa sel CDI dengan ion-exchange membrane (MCDI) memiliki pengurangan garam efisiensi lebih besar daripada sel CDI tanpa membran silika. Presentase pengurangan garam yang diperoleh dengan penambahan membran silika yaitu sebesar 66,36 %, sedangkan sel CDI tanpa membran silika memperoleh pengurangan garam yaitu sebesar 54,4 %. Penambahan silika pada sistem CDI akan menyebabkan co-ion tidak dapat keluar kembali dari elektroda ketika telah teradsorpsi ke dalam elektroda. Hal ini diharapkan proses adsorpsi muatan berjalan maksimal. Karena ion-ion tidak bergerak kembali menuju aliran larutan garam pada saat proses desalinasi. Penurunan salinitas air laut setelah desalinasi disebabkan karena adanya proses adsorpsi ion-ion pada permukaan elektroda. Ion-ion yang teradsorpsi ditahan pada permukaan elektroda ketika elektroda diberikan tegangan. Ion Na^+ teradsorpsi pada permukaan elektroda negatif dan ion Cl^- teradsorpsi pada permukaan elektroda positif (Astuti, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian, konduktivitas air laut sebelum desalinasi yaitu 38,10 mS/cm. Setelah air laut dilewatkan pada sistem CDI diperoleh nilai konduktivitas tanpa silika yaitu 11,45 mS/cm. Setelah ditambahkan silika diperoleh nilai konduktivitas tertinggi pada elektroda sistem CDI dengan ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu sebesar 2,49 mS/cm. sedangkan nilai konduktivitas terendah terjadi pada ukuran ketebalan silika 3 mm yaitu hanya mampu menurunkan hingga 6,32 mS/cm. Jika ditinjau dari presentase penurunan konduktivitas, diperoleh presentase penurunan konduktivitas tertinggi pada ukuran ketebalan silika 1 mm yaitu sebesar 93,46 % dan presentase penurunan konduktivitas terjadi pada ukuran ketebalan silika 3 mm yaitu sebesar 83,41 %. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Permatasari, et al (2022) diperoleh hasil pengukuran konduktivitas pada sel CDI dengan penambahan membran silika yaitu sebesar 59,30 %, sedangkan pengukuran konduktivitas pada sel CDI tanpa membran silika yaitu sebesar 26,58 %. Nilai konduktivitas dipengaruhi oleh kandungan ion-ion yang terlarut dalam air, air laut memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga mengandung banyak ion di dalam air laut. Sebagai akibat adanya ion-ion garam di dalam air laut, maka air laut memiliki konduktivitas yang baik, semakin tinggi salinitas, maka kadar ion-ion garam semakin banyak sehingga konduktivitas semakin tinggi (Swasta, 2018).

Ketebalan elektroda karbon menjadi faktor yang mempengaruhi agar ion dapat berdifusi melalui lubang-lubang pori, apabila ketebalan elektroda karbon semakin kecil, maka akan memudahkan ion-ion untuk berdifusi. Sebaliknya jika ketebalan elektroda semakin besar, maka ion-ion sulit untuk berdifusi ke dalam pori yang mengakibatkan ion-ion hanya berada pada permukaanpori (Burke, 2000). Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengukuran salinitas dan konduktivitas mengalami penurunan yang tinggi dengan menggunakan silika dengan ketebalan 1 mm. Barcelos et al (2020) menyatakan bahwa semakin besar ketebalan elektroda menyebabkan difusi yang lebih lambat di seluruh massa elektroda, sehingga mempengaruhi kinerja desalinasi. Apriyanto (2017) gerakan difusi yang lambat antarmuka

elektroda dapat menyebabkan penurunan pada nilai salinitas dan konduktivitas.

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil desalinasi dengan menggunakan sistem CDI, akan tetapi faktor yang berperan penting adalah kemampuan dari elektroda itu sendiri. Faktor yang mempengaruhi kinerja dari elektroda adalah sifat kapasitor dari karbon dan besar kapasitansinya. Faktor lainnya yaitu ketebalan elektroda, dimana semakin besar ketebalan elektroda menyebabkan difusi yang lebih lambat di seluruh masa elektroda, sehingga mempengaruhi kinerja desalinasi dan hasil terbaik diperoleh dengan menggunakan ketebalan yang kecil (Barcelos et al, 2020). Pengurangan kadar garam air laut selama proses desalinasi dapat terjadi karena ion pada air laut yang masuk pada sistem CDI akan diadsorpsi oleh permukaan elektroda dengan memberi tegangan pada sistem. Pengurangan ion menjadi lebih rendah seiring dengan bertambahnya waktu karena permukaan elektroda telah ditempati ion (Seo et al, 2010).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dari penelitian ini,, maka nilai kapasitansi terhadap frekuensi 800 Hz yang dan nilai kapasitansi dari variasi ketebalan silika berturut-turut yaitu ketebalan silika 1 mm adalah $6,9284 \times 10^{-10}$ F, ketebalan silika 2 mm adalah $6,3184 \times 10^{-10}$ nF dan ketebalan silika 3 mm adalah $5,4175 \times 10^{-10}$ nF. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi ketebalan penukar ion pada elektroda CDI juga mempengaruhi tinggi rendahnya kapasitansi dan mempengaruhi kemampuan desalinasi, yakni ditunjukkan dengan adanya nilai salinitas yang cenderung menurun pada ketebalan penukar ion 1 mm yaitu dari 34 ‰ menjadi 6 ‰ dan nilai konduktivitas yang menurun dari 38,10 mS/cm menjadi 2,49 mS/cm. Adapun beberapa saran yang dapat bermanfaat sebagai acuan dan membangun pada penelitian selanjutnya adalah penelitian ini tidak melakukan uji karakterisasi terhadap sampel penelitian sehingga diharapkan penelitian selanjutnya dapat melakukan uji karakterisasi. Penelitian ini membatasi variasi ketebalan penukar ion sebanyak tiga ketebalan sehingga diharapkan penelitian selanjutnya dapat memperbanyak variasi ketebalan penukar ion agar dapat melihat pengaruh yang lebih signifikan lagi terhadap nilai kapasitansinya. penelitian selanjutnya diharapkan mengukur berapa maksimal sistem Capacitive Deionization (CDI) pemakaiannya bertahan berapa lama (waktujenuh).

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.A., Cudero A.L and Palma Y. (2010). 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 3845-3856.
- Apriyanto, A., Handayani, PI dan Rosi M. (2017). Rancang Bangun Sistem Pengukuran Koefisien Difusi NaCl pada Material Karbon Nanipori. *e-Proceeding of Engineering*. Vol 4. No 1. Hal 597-604, ISSN: 2355-9365.
- Astuti dan Effendi. (2016). Pengaruh Suhu Sistem Desalinasi Air Laut Menggunakan Multi Sel Elektroda Capacitive Deionization (CDI) Berbasis Karbon Aktif Tempurung Kemiri. *POSITRON*. Vol 10. No 1. Hal 51-56. DOI: 10.26418/positron.Vol 10.37526.
- Astuti dan Taspika. (2015). Pembuatan Elektroda Karbon Berpori dari Tempurung Kemiri dan Perancangan Prototipe Sistem Capacitive Deionization (CDI) untuk Desalinasi Air Payau. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 11 (1) (2015) 100-107. p-ISSN: 1693-1246 e-ISSN: 2355-3812.
- Barcelos, Kamilla M., Kaique S.G.C., Oliveira., Luis A.M dan Ruotolo. (2020). Insight on the role of interparticle Porosity and Electrode Thickness on Capacitive Deionization Performance for Desalination. *Desalination*.
- Burke, A. (2000). Ultracpacitors: Why, How and Where is the Technology. *Journal of Power Sources*. 91(1), Hal 37-50.
- Fatimah, L dan Endarko. (2016). Analisis Pengaruh Struktur Sel Elektroda pada Proses Desalinasi Larutan NaCl dalam Sistem Capacitive Deionization. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol 4. No1.
- Himmaty, I dan Endarko. (2013). Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (NaCl). *Berkala Fisika*. Vol 16. No 3. Hal 67-74. ISSN: 1410-9662.
- Kadang, M.R.A.M., Anas M dan Vivi H.R.M. (2020). Efek Variasi Konsentrasi Zat Aktivator H₃PO₄ terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kemiri. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol 5 No 4.
- Krismatuti, H.S.F., Harry, B dan Achmad, H.S. (2008). Adsorpsi Ion Logam Cadmium dengan Silika Modifikasi. *Pusat Penelitian Kimia-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Tangerang.
- Lee, J.K., Kim Y.E., Kim J., Chung S., Ji D dan Lee J. (2012). Comprable mono and bipolar connection of capacitive deionization stack in NaCl treatment. *J Ind. Eng. Chem*. Vol 18 No 2. pp 763-766.

- Misbah, M.N dan Nova S.M.K. (2010). Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut terhadap Laju Korosi Baja A36 pada Pengelasan SMA W. Jurnal Teknik ITS. Vol 1. Hal 75-77.
- Mulyasuryani, M., Rumhayati B., Cahyani dan Soebintaro. (2013). Adsorpsi Pb^{2+} dan Cu^{2+} Menggunakan Kitosan-Silika dari Abu Sekam Padi. Valensi. Vol 3. No 2. ISSN: 1978-8193.
- Munasti. (2019). Efek Variasi Konsentrasi HCl terhadap Kandungan Unsur Silika yang Diekstrak dari Lumpur Teluk Kendari Menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence). Kendari: Universitas Halu Oleo.
- Permatasari, M.L., Rosi M dan Andiani L. (2022). Pembuatan Sel Capacitive Deionization Berbasis Karbon Aktif dan Membran untuk Desalinasi Air Garam. TELKATIKA. Vol 1. No 2.
- Putra, A.N.H.E., Rachmat, T.T., dan Mohammad, M.K. (2013). Optimasi Ekstraksi Silika dan Alumina dari Lumpur Sidoarjo. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sapri, W. (2016). Pelapisan Nanofiber Selulosa Asetat dan Polivinylidene Fluoride Kopolimer Menggunakan Nanopartikel Karbon Aktif-Kolagen dan Nanopartikel Karbon-Aktif Gelatin. Skripsi Program Sarjana. Universitas Jendral Achmad Yani. Bandung,7.
- Swasta, Ida Bagus Jelantik. (2018). Bioekologi Ekosistem Laut dan Estauria, Depok: PT Raja Grafindo Persada.
- Yauar, Iwantono, Taer E dan Andriani R. (2010). Pengaruh Ketebalan Elektroda Terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik dan “Retained Ratio” Serbuk Gergaji Kayu Karet untuk Pembuatan Supercapacitor, Proseding Seminar Nasional Fisika II. Surabaya. 17 Juli 2010. C72-C78.
- Zhang, X and Reible D. (2020). Exploring the Function of Ion-Exchange Membrane in Membrane Capacitive Deionization Via a Fully Coupled Two-Dimensional Process Model. Doi:10.3390/pr8101312.