

Penyisihan Salinitas dengan Metode Desalinasi Menggunakan Reaktor *Capacitive Deionization* (CDI)

Azahra Hayu Nariswari dan Harmin Sulistiyaning Titah
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: harminsulis@gmail.com

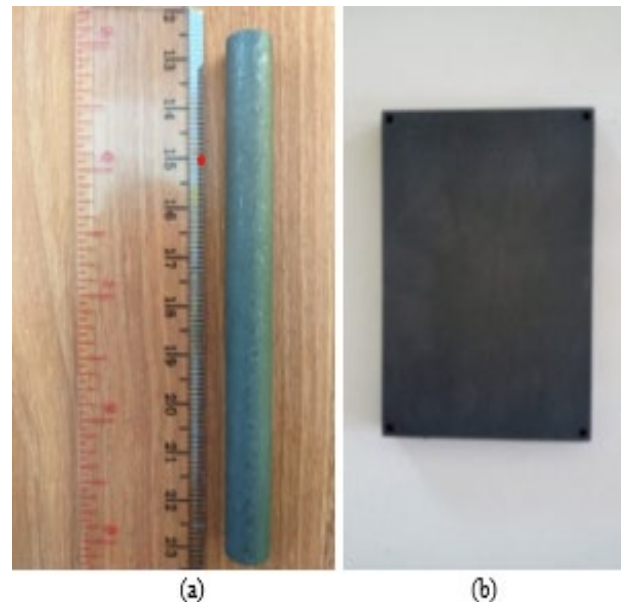
Abstrak—Kesulitan untuk mendapatkan air bersih yang layak saat ini menjadi permasalahan di banyak wilayah, maka dari itu perlu adanya teknologi yang mampu mengubah air belum layak konsumsi menjadi air yang layak konsumsi. Desalinasi merupakan metode yang efektif, karena mampu mengubah air yang belum terolah (air asin) menjadi air yang layak konsumsi (air tawar). Teknologi desalinasi menggunakan *Capacitive Deionization* (CDI) dipilih karena berefisiensi tinggi dan membutuhkan biaya yang rendah. Pada penelitian ini digunakan variasi bentuk elektroda karbon aktif (pelat dan silinder), besarnya voltase (2, 12, dan 24V), jarak antar elektroda (1 dan 5 cm), dan waktu desalinasi (0, 5, 10, dan 15 menit). Dalam pelaksanaan penelitian ini, akan ditentukan juga efisiensi penyisihan salinitas pada reaktor CDI yang dioperasikan secara sistem *batch* dan kontinu. Berdasarkan uji statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) *Two Way* pada selang kepercayaan 5%, bentuk elektroda, besarnya voltase, dan jarak antar elektroda tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan salinitas dengan *P-value* sebesar 0,164; 0,452; dan 0,139. Sedangkan bentuk elektroda dan jarak antar elektroda memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan daya hantar listrik (DHL) dengan besaran *P-value* 0,00 dan 0,37. Voltase tidak memberikan pengaruh yang signifikan dengan *P-value* 0,322, namun tegangan 24V memberikan pengaruh yang paling besar terhadap efisiensi penyisihan salinitas dan DHL. CDI yang dioperasikan dengan sistem *batch* menghasilkan efisiensi penyisihan salinitas yang lebih baik daripada yang dioperasikan dengan sistem kontinu.

Kata Kunci—*Capacitive Deionization* (CDI), Desalinasi, Efisiensi, Elektroda, Salinitas.

I. PENDAHULUAN

AIR adalah semua air yang terdapat pada, di atas atau di bawah permukaan tanah, termasuk air laut yang berada di darat [1]. Semua makhluk hidup di dunia ini membutuhkan apa yang disebut air, mulai dari mikroorganisme sampai dengan makhluk paling mulia yaitu manusia. Tidak akan ada kehidupan seandainya di bumi ini tidak ada air, karena air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan [2].

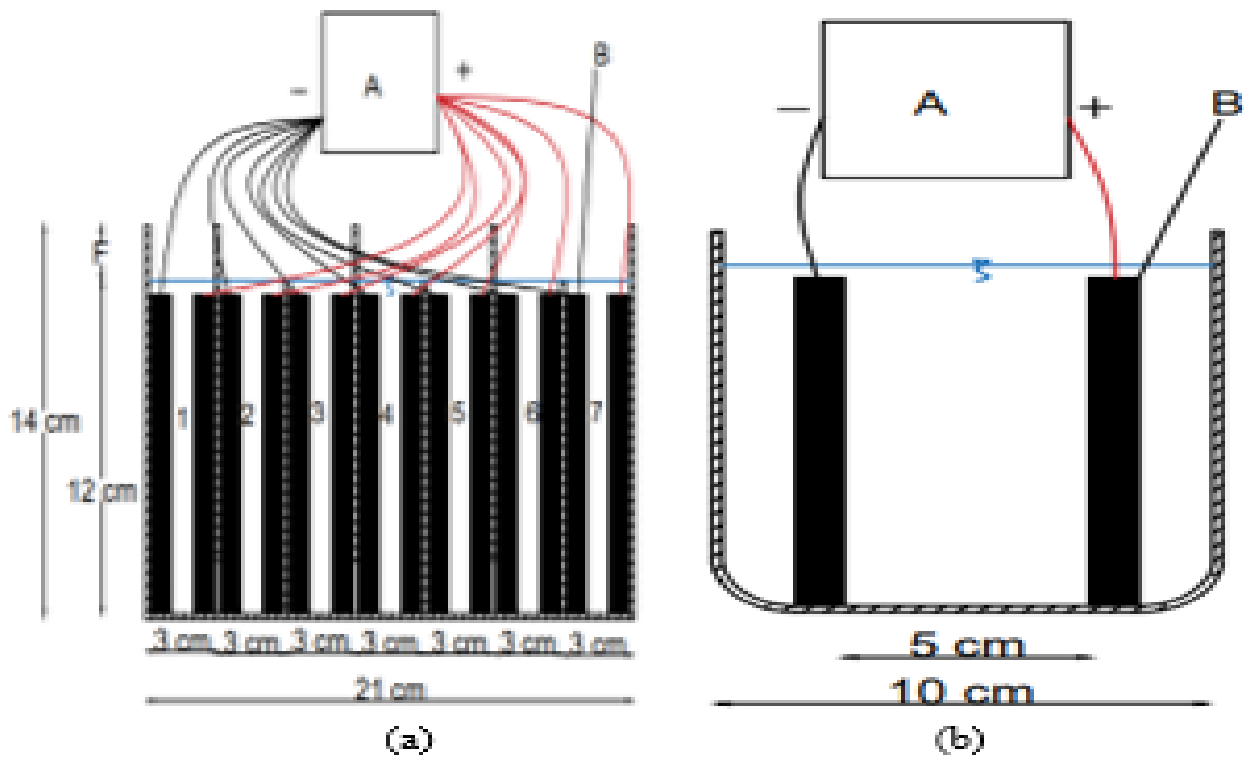
Planet bumi 70% permukaannya tertutup oleh air, namun hanya 1% dari air tersebut yang merupakan air layak dikonsumsi oleh manusia, dan selebihnya 99% dalam bentuk air laut yang tidak layak konsumsi [3]. Sementara populasi dan permintaan akan air tawar meningkat, namun pasokan akan selalu tetap. Meskipun benar bahwa air terus menerus mengalami siklus, namun tidak selalu kembali ke tempat yang sama, atau dalam jumlah dan kualitas yang sama. Oleh karena itu perlu adanya terobosan baru untuk memanfaatkan air yang belum terolah seperti air laut, air payau, dan air sungai menjadi air tawar yang layak konsumsi, proses ini dikenal sebagai desalinasi. Desalinasi telah muncul sebagai



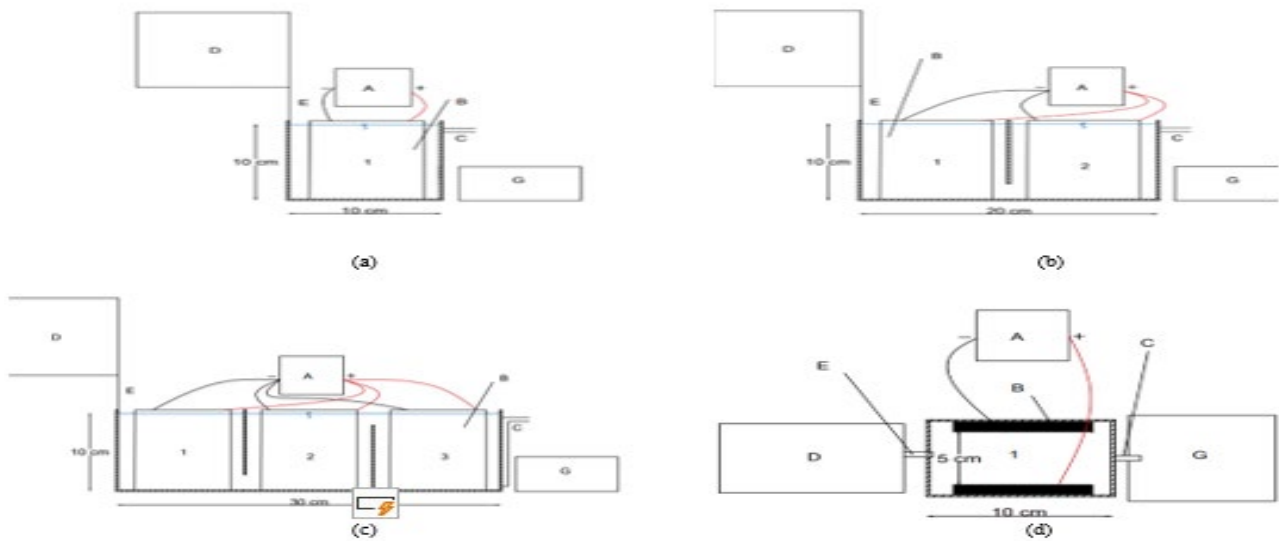
Gambar 1. Gambar elektroda (a) Elektroda berbentuk silinder (b) Elektroda berbentuk pelat.

kunci untuk mempertahankan generasi masa depan di seluruh dunia. *Desalination* atau desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi binatang, tanaman, dan manusia (air tawar). Air tawar didefinisikan sebagai air yang mengandung kurang dari 1.000 mg/L garam atau total padatan terlarut (TDS) [4].

Teknologi biodesalinasi yang berbasis pada *phytotechnology* (*green technology*) dengan memanfaatkan tumbuhan hijau yang berinteraksi dengan mikroorganisme yang terdapat pada akarnya untuk mengolah polutan organik dan anorganik limbah dan atau meremediasi lingkungan yang tercemar. Reaktor biodesalinasi sistem *reed bed* (*mangrove Avicennia marina – Rhizophora mucronata*) dengan penambahan bakteri *Vibrio alginolyticus* secara sistem kontinu dapat menyisihkan salinitas sebesar 90%. Penyisihan salinitas ini berawal dari konsentrasi air asin 20‰ dan konsentrasi air akhir sebesar 1,19‰ pada hari ke-6 [5]. Namun kendalanya konsentrasi akhir ini belum memenuhi syarat air tawar yang seharusnya di bawah 5‰. Oleh karena itu, hal ini menjadi dasar ide penelitian untuk dilakukan proses lanjutan setelah biodesalinasi menggunakan proses lain, yaitu proses fisik-kimia. Sehingga diharapkan bagaimana hasil teknologi desalinasi air asin menggunakan proses fisik-kimia dengan salinitas yang rendah. Terdapat berbagai cara dalam melakukan desalinasi proses fisik-kimia. Salah satu alternatif yang tepat dan



Gambar 2. Skema reaktor sistem *batch* (a) Reaktor bersekat (b) Reaktor gelas beker.



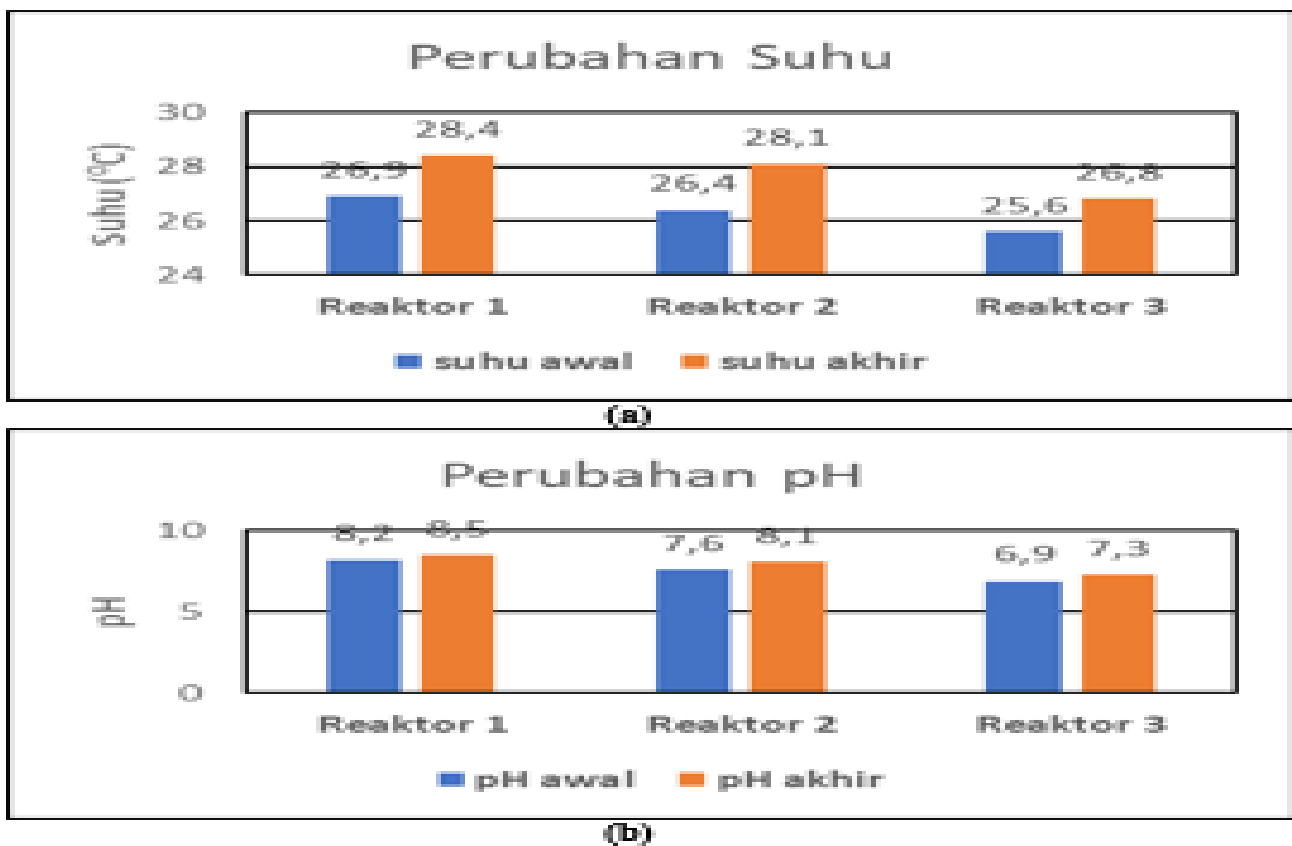
Gambar 3. Skema reaktor sistem kontinu (a) Reaktor 1 (b) Reaktor 2 (c) Reaktor 3 (d) Reaktor 1 tampak atas.

menjanjikan yaitu reaktor *Capacitive Deionization* (CDI). Teknologi CDI merupakan teknologi desalinasi alternatif terutama untuk air payau dengan salinitas rendah [6]. Teknologi CDI memiliki efisiensi yang tinggi dan biaya yang rendah. Selain itu, CDI didasari pada polarisasi elektroda di air garam (larutan elektrolit) dengan potensial yang konstan, di mana lapisan listrik terbentuk dan adsorpsi ion-ion larutan diperoleh [7].

Kinerja CDI juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain material elektroda, tegangan listrik yang diaplikasikan, laju alir larutan, konsentrasi ion larutan, lama pengolahan air yang diionisasi, suhu larutan, jarak pelat elektroda, serta jumlah pasangan elektroda [8]. Oleh karena itu, variabel yang digunakan pada penelitian ini meliputi tegangan listrik, lamanya waktu pengolahan, jarak antar elektroda, dan bentuk elektroda.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari pembuatan larutan sampel, yaitu larutan NaCl yang merupakan hasil campuran antara pro analisis NaCl dan aquades dengan konsentrasi salinitas inisial yang diteliti yaitu 2, 4, dan 10‰. Elektroda yang dipakai merupakan elektroda berbahan dasar karbon aktif dengan dua variasi bentuk elektroda, yaitu berbentuk silinder dan pelat. Elektroda berbentuk silinder berdiameter 1 cm dengan tinggi 10 cm, sedangkan dimensi pada elektroda berbentuk pelat yaitu 8 x 73,8 x 104 mm. Sehingga luas permukaan masing-masing elektroda antara lain 32,9 cm² untuk elektroda silinder dan 181,9 cm² untuk elektroda pelat yang disajikan pada Gambar 1. Reaktor CDI yang dibuat pada sistem *batch*



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran sistem kontinu (a) Pengukuran suhu (b) Pengukuran pH.

berbahan dasar akrilik berdimensi 21 x 7,5 x 14 cm dengan total 6 sekat, sehingga terdapat tujuh kamar. Reaktor tersebut dioperasikan saat menggunakan variabel jarak antar elektroda 1 cm. Jumlah elektroda silinder yang disusun pada masing-masing sekat yaitu 7 buah katoda dan anoda, sedangkan pada operasional elektroda pelat hanya menggunakan 1 buah anoda dan katoda. Sehingga, jumlah elektroda yang dibutuhkan yaitu 98 buah elektroda silinder dan 14 elektroda pelat pada satu kali operasional CDI. Lain halnya pada operasional variabel jarak antar elektroda 5 cm, yaitu menggunakan reaktor gelas beker 1L dengan diameter \pm 10 cm. Jumlah elektroda silinder yang disusun berjumlah 7 buah anoda dan katoda serta 1 buah anoda dan katoda pelat pada satu kali operasional CDI.

Masing-masing elektroda yang tersusun diberi tegangan melalui kawat tembaga dengan variasi 2, 12, dan 24V. Perubahan variasi tegangan dikontrol melalui adaptor yang terhubung langsung ke listrik. Elektroda positif (anoda) dihubungkan kabel berwarna merah, sedangkan elektroda negatif (katoda) dihubungkan kabel berwarna hitam. Setelah larutan NaCl melewati reaktor CDI, dilakukan pengukuran empat parameter, antara lain nilai salinitas dan daya hantar listrik (DHL) sebagai parameter utama serta suhu dan pH sebagai variabel respons. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke-0, 5, 10, dan 15 menggunakan pipet. Data yang didapat akan dilakukan uji statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) *Two Way* menggunakan aplikasi *minitab* 20 sehingga mampu mengetahui apakah variabel-variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan salinitas. Selain itu, dapat diketahui juga bagaimanakah interaksi kedua variabel terhadap efisiensi penyisihan salinitas maupun DHL. Adapun skematik reaktor CDI sistem *batch* yang disajikan pada Gambar 2.

Kombinasi variabel-variabel pada sistem *batch* yang memberikan hasil efisiensi penyisihan terbesar, diimplementasikan pada operasional desalinasi sistem kontinu. Didapatkan tiga macam reaktor kontinu yang terdapat perbedaan pada jumlah sekat, panjang reaktor, jumlah pasangan elektroda yang tersusun, dan laju aliran larutan NaCl. Laju aliran pada reaktor 1, 2, dan 3 secara berurutan yaitu 50, 100, dan 150 mL/menit. Skema reaktor kontinu disajikan pada Gambar 3.

Larutan NaCl yang telah melewati reaktor kontinu, akan dilakukan pengukuran. Parameter utama yang diukur yaitu salinitas dan DHL serta suhu dan pH sebagai variabel respons. Kemudian dilakukan analisis mengenai hubungan antara keempat parameter tersebut dan dilakukan perbandingan antara sistem *batch* dan kontinu sehingga mampu ditentukan sistem mana yang lebih tepat untuk operasional CDI.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian desalinasi dilakukan pada dua sistem, yaitu sistem *batch* dan kontinu. Hasil pengukuran yang didapat akan dibandingkan dengan kontrol (desalinasi menit ke-0), di mana larutan NaCl pada menit ke-0 tidak mengalami perubahan sebab tidak terpengaruh efek desalinasi yang menyebabkan ion-ion terlarut menempel pada pori-pori elektroda.

A. Sistem Batch

Parameter utama yang diukur adalah salinitas dan DHL. Untuk salinitas secara keseluruhan tidak ada perubahan yang signifikan namun cenderung menurun nilainya seiring dengan lamanya waktu desalinasi. Hal ini disebabkan adanya

Tabel 1.
Efisiensi Penyisihan Salinitas pada Sistem *Batch*

Variabel	Variasi	Persentase Penyisihan
Bentuk Elektroda	Pelat	0,55%
	Silinder	0,41%
Besarnya Tegangan	2V	0,417%
	12V	0,433%
	24V	0,94%
Jarak Elektroda	1 cm	0,25%
	5 cm	0,75%

Tabel 2.
Efisiensi Penyisihan DHL pada Sistem *Batch*

Variabel	Variasi	Persentase Penyisihan
Bentuk Elektroda	Pelat	15%
	Silinder	2%
Besarnya Tegangan	2V	9,4%
	12V	17,8%
	24V	23,37%
Jarak Elektroda	1 cm	3,25%
	5 cm	14,5%

Tabel 3.
Efisiensi Penyisihan Salinitas dan DHL pada Sistem Kontinu

Efisiensi	Salinitas	DHL
Reaktor 1	0,50%	2,69%
Reaktor 2	2,00%	-0,28%
Reaktor 3	2,50%	7,23%

interaksi larutan ion yang mengalir dengan sepasang elektroda. Elektroda positif akan menyebabkan ion-ion negatif (anion) tertarik dan elektroda negatif akan menyebabkan ion-ion positif (kation) tertarik [9]. Desalinasi dengan jarak antar elektroda 5 cm memiliki pengaruh lebih besar terhadap efisiensi penyisihan salinitas, yaitu sebesar 0,75% jika dibandingkan dengan jarak antar elektroda 1 cm yakni 0,25%. Apabila jarak elektroda terlalu sempit, pada suatu kondisi di mana antara elektroda terbentuk endapan jenuh dan “terjebak” diantaranya maka difusivitas ion akan terganggu, luas permukaan elektroda yang efektif menjadi berkurang, dan ion-ion akan sulit menangkap elektron dari permukaan katoda yang berhadapan dengan anoda [10]. Apabila jarak yang terlalu dekat atau bahkan saling bersentuhan dikhawatirkan akan terjadi korsleting arus pendek yang berbahaya [11]. Kemudian untuk variabel bentuk elektroda, elektroda pelat mampu menyisihkan salinitas sebesar 0,55%. Hal ini tentu lebih baik jika dibandingkan dengan elektroda silinder yang hanya mampu menyisihkan salinitas sebesar 0,41%. Elektroda pelat yang dioperasikan dengan tegangan sebesar 24V memberikan hasil efisiensi penyisihan terbesar, yaitu 0,94%. Lain halnya saat elektroda pelat dioperasikan dengan tegangan 2V dan 12V yang hanya mampu menyisihkan salinitas sebesar 0,417% dan 0,433%. Untuk mempermudah melakukan analisa maka hasil pengukuran disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil Tabel 1, untuk penyisihan DHL secara keseluruhan bersifat fluktuatif namun cenderung menurun. Pengurangan nilai konduktivitas pada larutan NaCl sebanding dengan kemampuan elektroda karbon dalam mengurangi kadar garam [12]. Oleh karena itu, larutan NaCl yang telah didesalinasi memiliki kandungan garam yang lebih

kecil sehingga mempengaruhi nilai konduktivitas yang semakin kecil pula. Pada desalinasi yang dioperasikan dengan elektroda pelat, mampu menyisihkan DHL sebesar 15%, sementara elektroda silinder hanya mampu menyisihkan 2%. Kemudian, elektroda pelat dioperasikan dengan tegangan 2, 12, dan 24V. Berdasarkan ketiga variasi tersebut, tegangan 24V yang memberikan pengaruh terbesar terhadap efisiensi penyisihan DHL, yaitu sebesar 23,37%. Berbeda dengan tegangan 2V dan 12V yang hanya mampu menyisihkan DHL sebesar 9,4% dan 17,8%. Selain itu, desalinasi yang beroperasi dengan jarak antar elektroda 5 cm, memberikan penyisihan DHL sebesar 14,5%, lain halnya dengan jarak antar elektroda 1 cm yang hanya mampu menyisihkan 3,25%. Data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2 guna mempermudah melakukan analisa.

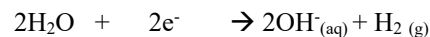
Selanjutnya dilakukan juga pengukuran suhu dan pH sebagai variabel respons. Untuk suhu larutan NaCl pada proses desalinasi secara keseluruhan bersifat fluktuatif namun cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu proses desalinasi. Suhu larutan NaCl sebelum masuk ke dalam reaktor CDI berkisar 26-29°C sementara suhu larutan NaCl setelah mengalami proses desalinasi berada direntang 26-30°C.

Berdasarkan hasil pengukuran pH, larutan NaCl memiliki pH berkisar antara 7-8, namun setelah melewati proses desalinasi pH larutan NaCl meningkat dan bisa mencapai angka 9 seiring dengan meningkatnya waktu proses desalinasi. Hal ini didukung oleh rujukan yang menyatakan bahwa kation terlarut dalam air adalah golongan IA, maka terjadi persaingan antara ion $\text{Na}^+(\text{aq})$ dan molekul air dalam mengalami reduksi. Air akan tereduksi karena mempunyai potensial reduksi lebih besar daripada Na^+ . Maka dari itu, reaksi pada elektroda disajikan sebagai berikut:

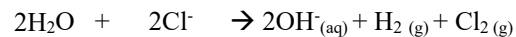
Reaksi di anoda :



Reaksi di katoda :



Reaksi total :



Berdasarkan reaksi yang terjadi di katoda didapatkan produk gas hidrogen, sedangkan di anoda didapatkan produk gas klorin. Pada total reaksi terbentuknya OH^- yang menyebabkan pH di dalam larutan menjadi tinggi atau basa seiring dengan meningkatnya waktu proses desalinasi.

B. Sistem Kontinu

Pelaksanaan sistem kontinu beroperasi menggunakan kondisi-kondisi yang menghasilkan efisiensi terbesar berdasarkan hasil percobaan pada sistem *batch*. Beberapa kondisi tersebut antara lain, elektroda berbentuk pelat, jarak antar elektroda 5 cm, tegangan sebesar 24V, konsentrasi salinitas inisial yakni 10‰, dan lamanya waktu proses desalinasi 15 menit (dijadikan sebagai waktu detensi pada reaktor kontinu). Parameter utama yang diukur yaitu salinitas dan DHL, serta dihitung juga efisiensi penyisihannya yang disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan perhitungan efisiensi pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar dalam penyisihan salinitas maupun DHL terjadi pada reaktor ketiga. Efisiensi penyisihan salinitasnya sebesar 2,5%, sedangkan pada penyisihan DHL sebesar 7,23%. Hal ini disebabkan karena

reaktor ketiga memiliki jumlah pasangan elektroda terbanyak, yaitu tiga pasang sehingga ion-ion memiliki kesempatan yang lebih besar untuk menempel pada elektroda. Selain itu, suhu dan pH larutan sebelum dan sesudah proses desalinasi juga diukur. Untuk mempermudah melakukan analisa maka data hasil pengukuran disajikan berbentuk grafik yang disajikan pada Gambar 4. Diketahui suhu dan pH larutan setelah desalinasi memiliki nilai yang lebih tinggi daripada sebelum proses desalinasi. Hal ini berarti terjadi peningkatan suhu dan pH selama proses desalinasi.

Berdasarkan percobaan desalinasi yang dilakukan, baik secara sistem *batch* dan kontinu, dapat diketahui bahwa nilai salinitas mengalami penurunan selama proses desalinasi. Penurunan nilai salinitas berpengaruh pada nilai DHL, sehingga nilai DHL juga mengalami penurunan. Salinitas mengalami penurunan sebab ion-ion yang terlarut menempel pada elektroda yang bermuatan. Reaksi ini menyebabkan nilai DHL juga menurun dikarenakan jumlah ion-ion terlarut mempengaruhi kemampuan larutan NaCl dalam menghantarkan listrik. Semakin kecil ion terlarut maka semakin kecil juga kemampuan larutan dalam menghantarkan listrik. Berdasarkan reaksi tersebut, dihasilkan OH sehingga larutan menjadi basa, dibuktikan dengan hasil pengukuran pH yang meningkat pada masing-masing larutan setelah operasional CDI. Perubahan temperatur (T) pada selang waktu (t) tertentu memberikan informasi terjadinya perubahan energi sistem [13]. Terjadinya penurunan salinitas dan DHL serta meningkatnya pH merupakan sebuah perubahan sistem yang terjadi di proses desalinasi sehingga menyebabkan suhu larutan meningkat. Dapat disimpulkan bahwa nilai salinitas berbanding lurus dengan nilai DHL, namun berbanding terbalik dengan nilai suhu dan pH.

C. Uji ANOVA

Dilakukan uji statistik ANOVA *Two Way* dengan selang kepercayaan 5%. Pada pengujian ANOVA, yang diperhatikan yaitu nilai *P-value*. Sehingga jika nilai *P-value* diatas 0,05 maka tidak terjadi perubahan yang signifikan, sementara jika di bawah 0,05 maka terjadi perubahan yang signifikan pada efisiensi penyisihan salinitas dan DHL.

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan informasi bahwa jarak elektroda, bentuk elektroda, dan voltase tidak berpengaruh secara signifikan pada penyisihan salinitas, dengan nilai *P-value* masing-masing yaitu 0,139; 0,164; dan 0,452. Selain itu, interaksi jarak elektroda & bentuk serta bentuk elektroda & voltase juga tidak berpengaruh secara signifikan, di mana nilai *P-value* nya sebesar 0,168 dan 0,331.

Selain itu, jarak elektroda, bentuk elektroda, interaksi jarak & bentuk elektroda, dan interaksi bentuk elektroda & voltase berpengaruh signifikan pada efisiensi penyisihan daya hantar listrik (DHL) dengan *P-value* masing-masing yaitu 0,037; 0,00; 0,00; dan 0,015. Oleh karena itu, dapat dilakukan uji lanjut pasca ANOVA dan diketahui rata-rata nilai pada elektroda berjarak 5 cm memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan elektroda yang berjarak 1 cm. Kemudian, elektroda berbentuk pelat juga memiliki rata-rata yang lebih besar daripada elektroda silinder. Pada interaksi jarak & bentuk, kombinasi 5 cm menggunakan elektroda pelat memiliki rata-rata yang paling tinggi, sedangkan pada

interaksi bentuk elektroda & voltase, kombinasi elektroda pelat bertegangan 2 V memiliki rata-rata yang paling tinggi. Semakin tinggi rata-rata yang didapat menunjukkan bahwa semakin memberikan pengaruh lebih besar pada penyisihan efisiensi DHL.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil uji ANOVA dengan selang kepercayaan 5%, dapat disimpulkan bahwa variabel bentuk elektroda, besarnya voltase, dan jarak antar elektroda tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan salinitas. Sedangkan, bentuk elektroda dan jarak antar elektroda memberikan pengaruh yang signifikan pada efisiensi penyisihan DHL, lain halnya dengan besarnya voltase. Voltase tidak memberikan pengaruh yang signifikan, pada DHL namun operasional desalinasi dengan tegangan 24V menghasilkan efisiensi penyisihan terbaik jika dibandingkan dengan 2V dan 12V. Desalinasi yang beroperasi dengan sistem *batch* juga memberikan hasil yang lebih baik daripada sistem kontinu, sebab efisiensi penyisihan salinitas dan DHL diketahui menghasilkan nilai yang lebih besar. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan salinitas dan DHL tergolong kecil, kemungkinan disebabkan karena adanya kandungan *carbonic acid* yang terlarut pada larutan sampel.

Rekomendasi riset lanjutan yaitu perlu dilakukan penelitian yang sama dengan menggunakan suhu larutan bervariasi, material elektroda bervariasi, rentang variabel yang lebih luas, dan dilakukan modifikasi alat dengan menambahkan *pretreatment* berupa dekarbonisasi pada larutan NaCl yang akan diolah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Pusat, "Peraturan Pemerintah Nomor 121 Tahun 2015 tentang Pengusahaan Sumber Daya Air." Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia, Jakarta, 2015.
- [2] T. Susana, "Air sebagai sumber kehidupan," *Oseana*, vol. 28, no. 3, pp. 17–25, 2003.
- [3] H. B. Ghalib, "Groundwater chemistry evaluation for drinking and irrigation utilities in east Wasit province, Central Iraq," *Appl. Water Sci.*, vol. 7, no. 7, pp. 3447–3467, 2017, doi: 10.1007/s13201-017-0575-8.
- [4] N. R. Council, *Review of the Desalination and Water Purification Technology Roadmap*, 1st ed. United States of America: National Academies Press, 2004.
- [5] T. C. Puspaningrum and H. S. Titah, "The removal of salinity in a reed bed system using mangroves and bacteria in a continuous flow series reactor," *J. Ecol. Eng.*, vol. 21, no. 6, 2020, doi: 10.12911/22998993/124075.
- [6] Y. Oren, "Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review)," *Desalination*, vol. 228, no. 1–3, pp. 10–29, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.08.005.
- [7] I. Cohen, E. Avraham, A. Soffer, and D. Aurbach, "Water desalination by capacitive deionization—advantages limitations and modification," *ECS Trans.*, vol. 45, no. 17, p. 43, 2013.
- [8] W. E. I. Huang, Y. Zhang, S. Bao, and S. Song, "Desalination by capacitive deionization with carbon-based materials as electrode: a review," *Surf. Rev. Lett.*, vol. 20, no. 06, p. 1330003, 2013, doi: 10.1142/S0218625X13300050.
- [9] M. A. Anderson, A. L. Cudero, and J. Palma, "Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. comparison to present desalination practices: will it compete?," *Electrochim. Acta*, vol. 55, no. 12, pp. 3845–3856, 2010, doi: 10.1016/j.electacta.2010.02.012.
- [10] D. Marta, "Studi Efisiensi Pemisahan Perak dari Limbah Cair Fixer Film dengan Metode Elektrolisis," Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [11] A. S. Kusuma, "Uji Pengaruh Kuat Arus Jarak Elektroda dan Jumlah Elektroda terhadap Kinerja Elektrokoagulasi dalam Menurunkan

Warna dan Chemical Oxygen Demand pada Limbah Backwash Ion Exchange Resin di Pabrik Gula Rafinasi PT Angels Product,” Universitas Indonesia, 2014.

- [12] N. Fadilah and E. Endarko, “Analisa pengukuran nilai konduktivitas larutan NaCl selama proses adsorpsi dan desorpsi pada sistem Capacitive Deionization (CDI),” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 3, no. 1, 2015, doi: 10.23960%2Fjtaf.v3i1.1277.
- [13] S. Y. L. Isana, “Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, Yogyakarta*, 2010, vol. 30, pp. 1–9.