

## **PENENTUAN WAKTU DETENSI OPTIMUM DALAM PROSES PENYISIHAN KLORIDA PADA REAKTOR KONTINU *ELECTRO GRAVITATIONAL DESALINATION***

### ***OPTIMUM DETENTION TIME DETERMINATION IN CHLORIDE REMOVAL PROCESS TOWARDS ELECTRO GRAVITATIONAL DESALINATION CONTINUOUS REACTOR SYSTEM***

**Dewa Gde Bagus<sup>1</sup> dan James Nobelia I.<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10, Bandung 40132

[dewa.gde@gmail.com](mailto:dewa.gde@gmail.com), [2jnobelial@yahoo.com](mailto:2jnobelial@yahoo.com)

**Abstrak:** Air merupakan elemen yang terbesar pada permukaan bumi mencakup lebih dari 70% dengan persentase sekitar 97% berada pada lautan lepas. Teknologi desalinasi harus diaplikasikan untuk mengolah air laut, yang memiliki komponen utama berupa NaCl (garam), menjadi air bersih yang layak dikonsumsi manusia. Beberapa teknologi desalinasi yang lazim digunakan adalah *Multi Stage Flash Distillation* dan *Reverse Osmosis*, namun kedua proses ini membutuhkan modal, biaya perawatan, dan energi yang sangat besar sehingga sulit diaplikasikan pada Negara berkembang. Berdasarkan hal ini, dikembangkan metode *Electro Gravitational Desalination* yang memanfaatkan proses elektrokimia dan gravitasi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui waktu detensi optimum pada proses penyisihan klorida sebagai kandungan unsur tertinggi pada NaCl, dengan sistem reaktor kontinu. Tiga variasi waktu detensi; 21 jam, 11 jam, dan 7 jam dengan waktu pengambilan sampel setiap 12 jam pada 4 konsentrasi NaCl yang dibuat secara artifisial; 1.000 ppm, 3.000 ppm, 5.000 ppm, dan 10.000 ppm. Berdasarkan variasi tersebut, waktu detensi optimum secara berturut-turut adalah; waktu detensi 11 jam pada waktu 24 jam dengan persentase penyisihan sebesar 18%, pada waktu 36 jam sebesar 17%, waktu detensi 21 jam pada waktu 36 jam sebesar 7,5%, dan waktu detensi 11 jam pada waktu 48 jam sebesar 5%.

**Kata kunci:** Air laut; desalinasi; penyisihan klorida; waktu detensi optimum

## **1. PENDAHULUAN**

Air merupakan elemen yang paling melimpah, meliputi 70% dari seluruh permukaan bumi. Persentase jumlah air terbesar berada pada lautan lepas yaitu 97% dan hanya sebagian kecil sekitar 0,0014% yang dapat dimanfaatkan karena berasal dari air dalam tanah dan badan air permukaan (Sophie Clayton, 2007). Berdasarkan perbandingan dari persentase tersebut, air laut dapat menjadi alternatif utama dalam pemenuhan kebutuhan air bersih terutama bagi para penduduk yang tinggal pada daerah pesisir pantai. Namun air laut memiliki konsentrasi garam (NaCl) yang sangat tinggi, berkisar antara 10.000 - 20.000 mg/L, sehingga tidak dapat dimanfaatkan secara langsung karena memiliki rasa yang sangat asin dan lengket pada permukaan kulit (FAO, 1998). Teknologi desalinasi

harus diaplikasikan untuk menghilangkan kandungan garam, unsur klorida pada khususnya sebagai penyusun senyawa NaCl tertinggi yang terdapat pada air laut (Salt Institute, 2009).

Berbagai macam desalinasi telah berkembang selama beberapa tahun ini. Proses desalinasi secara umum terbagi ke dalam 2 macam yaitu *thermal* (destilasi, penggunaan panas), dan membran (de Almeida, 2007). Kedua macam teknologi desalinasi tersebut membutuhkan biaya dan energi listrik yang sangat besar. Proses *Multi Stage Flash* (MSF) dan *Reverse Osmosis* (RO) membutuhkan modal sekitar 500 - 1.200 USD/m<sup>3</sup>/hari, biaya operasional berkisar antara 0,5 - 1,7 USD/m<sup>3</sup> dengan kebutuhan energi sekitar 6 - 20 kWh/m<sup>3</sup>. Teknologi RO lazim digunakan karena memiliki persentase penyisihan yang sangat tinggi untuk konsentrasi garam menengah ke bawah dan tidak memerlukan unit pengolahan yang rumit seperti pada MSF (Chen et al, 2007).

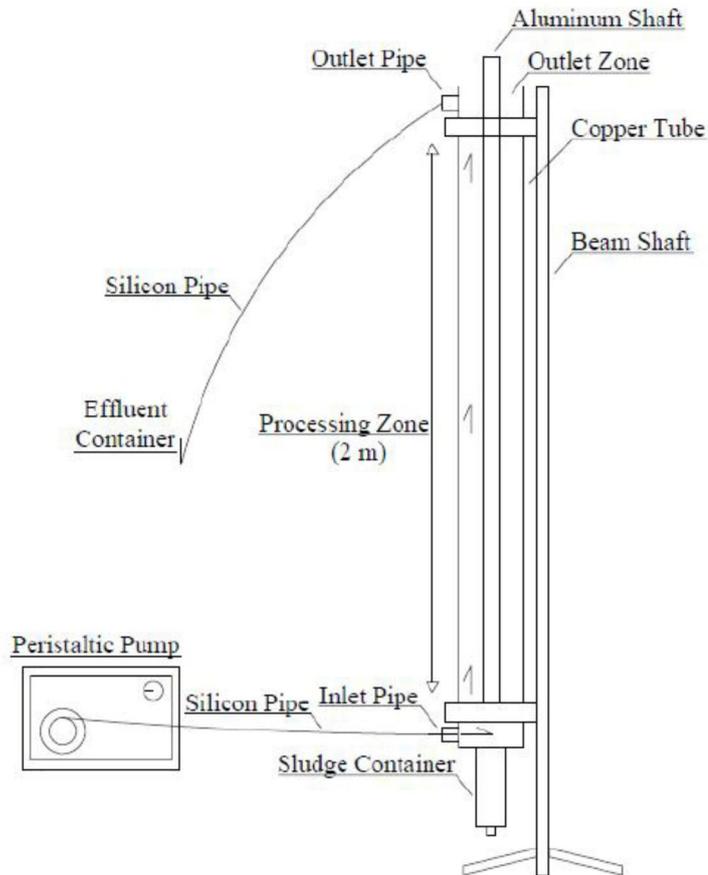
Penerapan kedua teknologi tersebut pada negara-negara berkembang dapat dikatakan sulit karena kemampuan daya beli masyarakat yang sangat kecil, kebutuhan akan tenaga ahli, serta kebutuhan energi yang sangat besar untuk mengoperasikan unit desalinasi tersebut. Atas dasar pemikiran ini, dikembangkan suatu metode desalinasi *Electro Gravitational Desalination* (EGD) yang memanfaatkan proses elektrokimia dan gravitasi. Metode ini dikembangkan oleh Albert H. Aul, seorang ilmuwan yang berasal dari Amerika. Prinsip kerja dari reaktor EGD dalam menyisihkan kandungan klorida memanfaatkan medan listrik yang terbentuk antara dua elektroda logam yaitu aluminium sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda, sehingga ion NaCl dapat terdissosiasi sesuai reaksi kimia yang terjadi (Aul, 1969).

Hingga saat ini, penelitian mengenai *Electro Gravitational Desalination* sangat jarang dilakukan di Indonesia. Sebagai Negara maritim, Indonesia memiliki luas wilayah lautan yang lebih besar dibandingkan wilayah daratan sehingga memiliki potensi penggunaan air laut sebagai sumber alternatif pemenuhan air bersih yang sangat besar. Disamping penggunaan air tanah dan badan air yang semakin hari semakin kecil aliran karena daerah resapan yang terganggu serta tingkat pencemaran yang semakin meningkat akibat aktifitas manusia. Diharapkan pada air hasil olahan EGD memiliki kandungan konsentrasi klorida pada kisaran 250 mg/L berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002 sebagai persyaratan kualitas air minum .

## 2. METODOLOGI

Sampel air garam; Dibuat secara artifisial dengan melarutkan sejumlah massa NaCl murni ke dalam 1 liter volume aquadest untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan dalam mg/L (ppm). Air garam (air asin) yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 konsentrasi yaitu; 1.000 ppm, 3.000 ppm, 5.000 ppm, dan 10.000 ppm.

Reaktor Kontinu EGD; Sampel air garam dengan konsentrasi tertentu dipompa ke dalam reaktor menggunakan pompa peristaltik secara *up-flow*, inlet berada pada bagian reaktor paling bawah dan outlet pada bagian atas (Gambar 1). WS4-3 Pemompaan sampel air garam dilakukan dengandengan pengaturan debit pemompaan sesuai dengan variasi waktu detensi yang diinginkan.



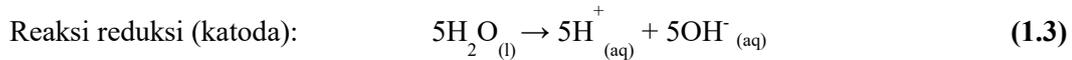
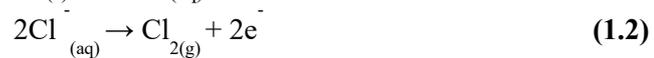
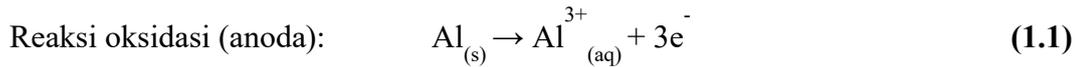
**Gambar 1.** Skema Reaktor EGD

**Pengambilan sampel hasil olahan;** Variasi waktu detensi yang digunakan adalah 21 jam, 11 jam, dan 7 jam dengan waktu pengambilan sampel pada outlet setiap 12 jam.

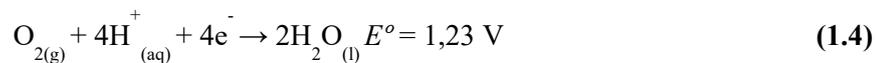
**Metode analisis pada sampel hasil olahan;** Pemeriksaan sampel meliputi pengukuran konsentrasi klorida dengan menggunakan Metode Mohr-Volumetri. Prinsip pengukuran metode ini adalah melakukan titrasi terhadap sampel dengan menggunakan larutan perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) sehingga terbentuk endapan  $\text{AgCl}$  berwarna putih. Pendeteksian endapan  $\text{AgCl}$  dilakukan dengan penambahan indikator kalium kromat ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) yang akan menghasilkan endapan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  berwarna merah bata. Titrasi harus dilakukan dalam suasana netral, sehingga harus ditambahkan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) maupun serbuk  $\text{ZnO}$ . Konsentrasi klorida yang terukur dinyatakan dalam satuan  $\text{mg/L}$ .

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel air garam artifisial menggunakan  $\text{NaCl}$  murni untuk menghindari adanya ion-ion lain yang dapat mengganggu proses penyisihan, sehingga pada air garam tersebut hanya mengandung natrium sebagai kation, dan klorida sebagai anion. Tembaga dan aluminium sebagai elektroda pada reaktor EGD akan menghasilkan proses elektrokimia yang terjadi karena reaksi redoks (reduksi dan oksidasi). Rangkaian reaksi redoks yang terjadi pada proses penyisihan klorida dalam reaktor EGD ditampilkan pada **Persamaan 1.1** hingga **Persamaan 1.3**.



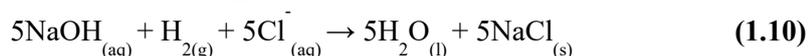
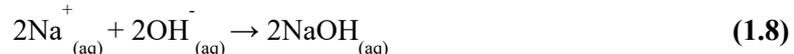
Pada anoda, klorida teroksidasi menjadi gas klorin karena oksigen membutuhkan energi yang lebih besar daripada rujukan standar potensial reduksi walaupun nilai potensial reduksi klorida lebih tinggi sesuai dengan **Persamaan 1.4** dan **Persamaan 1.5**, sedangkan aluminium teroksidasi karena unsur ini merupakan reduktor yang kuat.



Pada katoda, sodium yang terdissosiasi tidak tereduksi karena memiliki nilai standar potensial reduksi yang sangat negatif (kecil) sesuai dengan **Persamaan 1.6**, sedangkan tembaga tidak beraksi karena tidak reaktif terhadap air dan tidak dapat bereaksi dengan unsur maupun senyawa yang dihasilkan pada proses kimia yang terjadi. Sehingga pada katoda hanya terjadi reaksi netralisasi sesuai **Persamaan 1.3**.



Hasil reaksi pada anoda dan katoda akan lebih lanjut menghasilkan aluminium hidroksida ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) sesuai **Persamaan 1.7** hingga **Persamaan 1.9**.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  merupakan flok padatan berwarna putih yang dapat mempengaruhi kekeruhan pada air bila tidak mengendap secara sempurna, sedangkan  $\text{NaOH}$  adalah senyawa bersifat basa yang mudah terlarut di dalam air dan memiliki kecenderungan dapat beraksi dengan  $\text{Cl}_2$  dengan  $\text{H}_2$  untuk membentuk  $\text{NaCl}$  sesuai **Persamaan 1.10**.

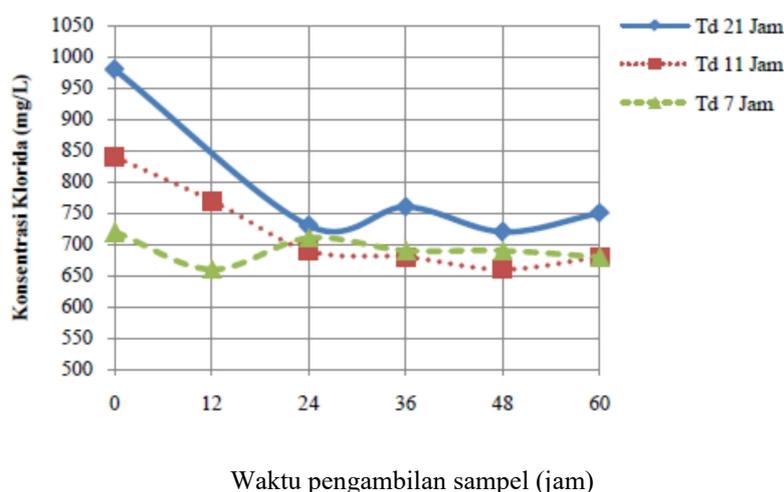


Karakter fisik pada reaktor EGD yang paling penting adalah jarak antara elektroda aluminium dan tembaga. Menurut Albert H. Aul pada jurnalnya tahun 1969 setidaknya jarak antar elektroda adalah 0.6 cm, karena jika jarak tersebut terlalu dekat dikhawatirkan akan terjadi penyumbatan oleh  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sebagai produk sampingan yang berbentuk flok padatan berwarna putih. Namun jika jarak terlalu jauh maka potensial sel elektrokimia yang terbentuk akan terlalu kecil dan tidak terjadi proses desalinasi. Penggunaan elektroda logam aluminium (Al) dan

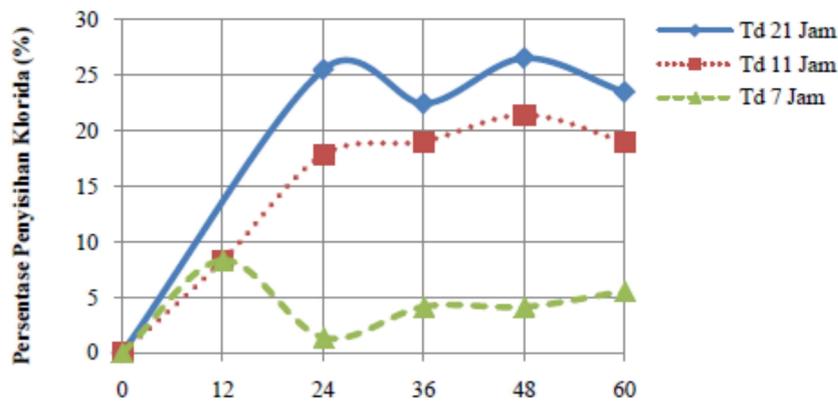
tembaga (Cu) pada reaktor dimaksudkan untuk mendapatkan potensial sel yang besar serta aspek ekonomi karena aluminium dan tembaga dapat ditemukan di pasaran dengan mudah serta harga yang relatif terjangkau. Potensial sel yang terjadi didasarkan atas deret volta, semakin jauh letak antara kedua jenis elektroda logam akan memberikan nilai potensial sel yang semakin besar serta daya reduksi yang semakin kuat (Chang, 1998). Proses penyisihan garam (NaCl) pada sampel artifisial direpresentasikan dengan pengukuran klorida karena pengukuran natrium yang tergolong sulit dan membutuhkan biaya yang relatif mahal. Menurut **Persamaan 1.2**, konsentrasi klorida setelah hasil pengolahan akan berubah menjadi lebih kecil karena terjadi perubahan fasa dan senyawa menjadi gas klorin ( $Cl_2$ ). Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa tidak terjadi perubahan konsentrasi natrium pada hasil air olahan proses desalinasi reaktor EGD (Hendrik, 2008).

### 3.1 Konsentrasi NaCl 1.000 ppm

Pada konsentrasi NaCl 1.000 ppm, penurunan konsentrasi klorida yang paling besar terjadi pada waktu 24 jam untuk waktu detensi 21 dan 11 jam (**Gambar 2**). Pada waktu detensi 7 jam, perubahan hanya terjadi pada waktu 12 jam. Persentase penyisihan klorida pada waktu detensi 21 jam menunjukkan hasil paling tinggi yaitu 26,5% pada waktu 24 dan 48 jam (**Gambar 3**). Pada waktu detensi 11 jam untuk waktu 24 jam dan seterusnya terjadi penyisihan klorida pada kisaran 20%. Sedangkan waktu detensi 7 jam memiliki persentase penyisihan yang paling kecil karena hanya mampu menyisihkan klorida sekitar 5%. Waktu detensi 21 menghasilkan penyisihan klorida yang paling tinggi, namun menghasilkan debit (Q) yang kecil. Maka waktu detensi 11 jam pada waktu 24 jam dipilih sebagai waktu detensi optimum karena memiliki debit yang lebih besar, dengan penyisihan sebesar 18% serta memiliki persentase penyisihan yang tidak berbeda jauh dengan waktu detensi 21 jam. Setelah waktu 24 jam tersebut, penyisihan konsentrasi klorida yang terjadi cenderung konstan.



**Gambar 2.** Perubahan konsentrasi klorida sampel air garam 1.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi



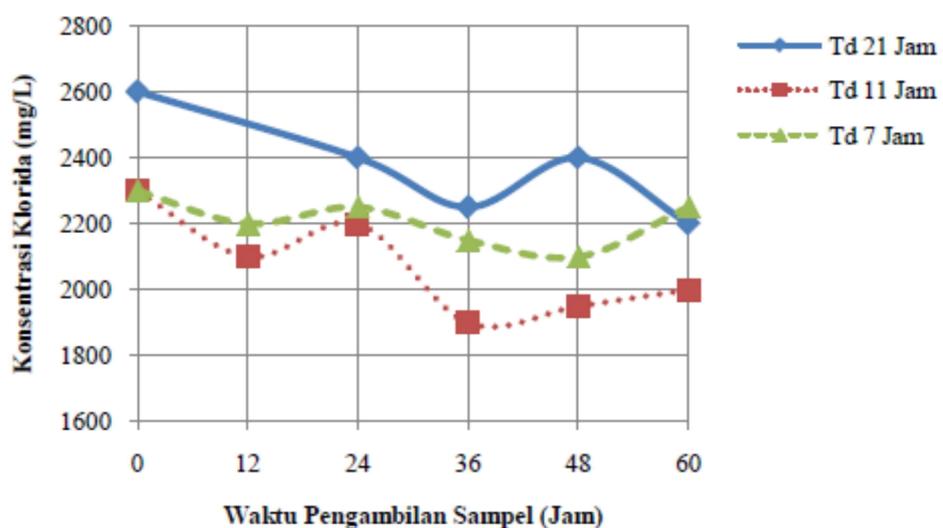
Waktu pengambilan sampel (jam)

**Gambar 3.** Persentase penyisihan klorida air garam 1.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi

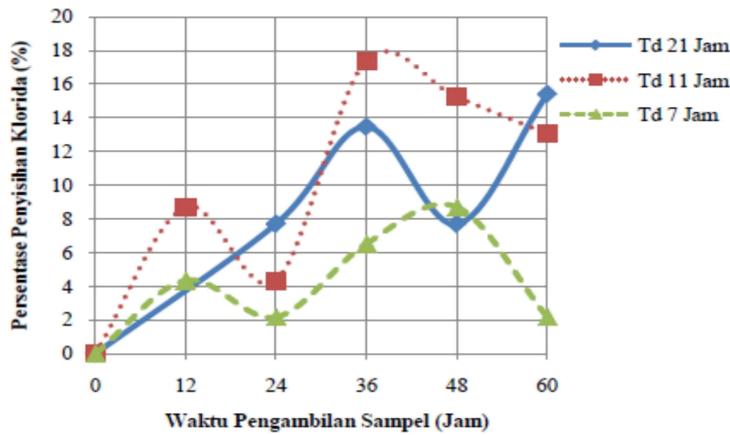
### 3.2 Konsentrasi NaCl 3.000 ppm

Pada konsentrasi NaCl 3.000 ppm, penurunan konsentrasi klorida pada setiap waktu detensi memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan konsentrasi NaCl 1.000 ppm (**Gambar 4**). Perbedaan terletak pada penurunan konsentrasi klorida yang paling besar relatif terjadi pada waktu 36 jam dan meningkat pada waktu berikutnya.

Persentase penurunan klorida paling besar terlihat dengan jelas pada waktu 36 jam untuk waktu detensi 11 jam yaitu 17% (**Gambar 5**). Sehingga waktu detensi ini terpilih sebagai waktu detensi optimum untuk penyisihan klorida pada konsentrasi 3.000 ppm. Konsentrasi NaCl yang lebih tinggi daripada sebelumnya mengindikasikan kebutuhan penambahan waktu yang lebih lama dari 24 menjadi 36 jam untuk menyisihkan konsentrasi klorida.



**Gambar 4.** Perubahan konsentrasi klorida sampel air garam 3.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi

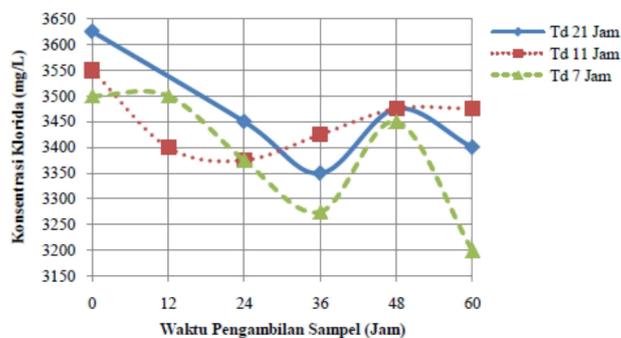


**Gambar 5.** Persentase penyisihan klorida air garam 3.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi

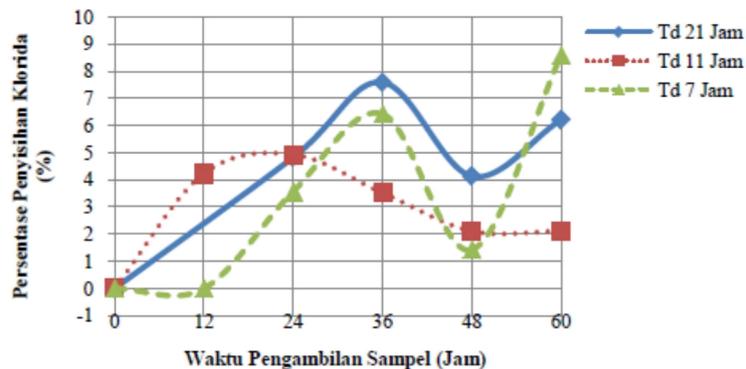
### 3.3 Konsentrasi NaCl 5.000

Perubahan konsentrasi klorida pada konsentrasi NaCl 5.000 ppm sangat bervariasi (**Gambar 6**). Pada waktu detensi 21 dan 7 jam, penurunan klorida terjadi pada waktu 36 jam dan kemudian meningkat kembali, namun terjadi peningkatan dan penurunan yang sangat drastis pada waktu 48 dan 60 jam untuk waktu detensi 7 jam. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena lumpur yang terbawa ke dalam wadah effluent, walaupun dalam jumlah sedikit. Pada waktu detensi 11 jam, penurunan klorida hanya terjadi pada waktu 24 jam dan meningkat secara gradual setelah waktu tersebut terlampaui. Dalam konsentrasi ini, terjadi pengendapan lumpur pada zona outlet dengan ketebalan sekitar 0,2 cm pada waktu 24 jam dan seterusnya untuk setiap waktu detensi sehingga dibutuhkan pengurasan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil penyisihan klorida yang maksimal.

Pada konsentrasi 5.000 ppm, waktu detensi yang optimum yang dipilih adalah 21 jam pada waktu 36 jam karena memiliki penyisihan paling tinggi yaitu 7,5% (**Gambar 7**). Pemilihan waktu detensi 21 jam sebagai waktu detensi optimum, walaupun memiliki debit yang paling kecil, didasarkan atas kebutuhan waktu proses penyisihan yang lebih lama karena konsentrasi NaCl yang diolah termasuk ke dalam klasifikasi salinitas sedang.



**Gambar 6.** Perubahan konsentrasi klorida sampel air garam 5.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi



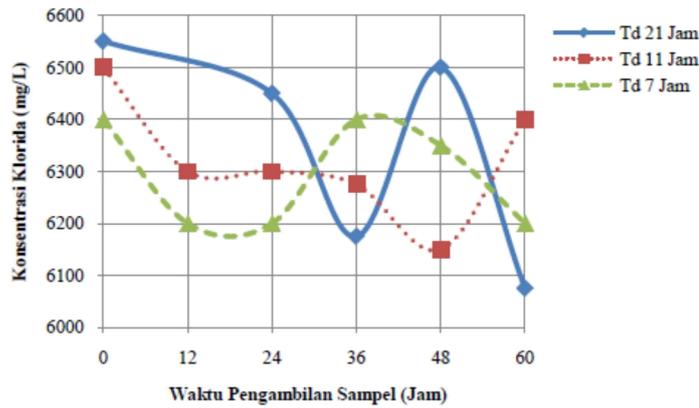
**Gambar 7.** Persentase penyisihan klorida air garam 5.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi

### 3.3 Konsentrasi NaCl 10.000 ppm

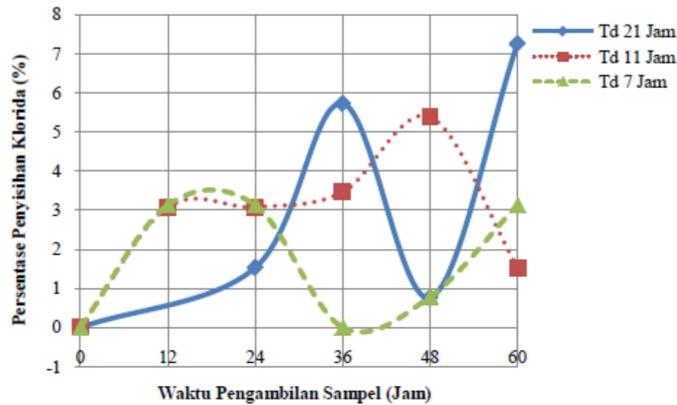
Pada waktu detensi 21 jam terjadi penurunan konsentrasi klorida yang sangat tinggi pada waktu 36 jam dan 60 jam (**Gambar 8**), namun endapan lumpur terbawa ke dalam wadah effluen pada waktu 36 jam. Pada konsentrasi NaCl 10.000 ppm, perubahan konsentrasi klorida sangat fluktuatif pada seluruh waktu detensi setelah waktu pengambilan sampel 36 jam.

Pada waktu detensi 11 jam, terjadi penurunan klorida yang paling stabil bila dibandingkan kedua waktu detensi lainnya dengan penurunan paling tinggi terjadi pada waktu 48 jam. Pada waktu detensi ini, terjadi pula kontaminasi lumpur pada waktu 24 dan 60 jam. Kemudian pada waktu detensi 7 jam, fluktuasi penurunan konsentrasi klorida memiliki kecenderungan seperti waktu detensi 21 jam. Dimana terjadi penurunan paling tinggi, kemudian meningkat drastis hingga mendekati kondisi awal.

Waktu detensi 7 jam memiliki debit yang paling tinggi, sehingga memiliki kecenderungan terbawanya lumpur ke dalam wadah effluen. Terbukti bahwa pada konsentrasi NaCl yang termasuk ke dalam klasifikasi salinitas tinggi ini, lumpur terbawa ke dalam wadah effluen untuk seluruh waktu pengambilan sampel. Pada konsentrasi ini, terjadi pula pengendapan lumpur pada zona outlet yang lebih tebal daripada konsentrasi 5.000 ppm pada waktu 24 jam dan seterusnya untuk seluruh waktu detensi. Persentase penyisihan klorida yang paling tinggi yaitu 5% terjadi pada waktu 48 jam untuk waktu detensi 11 jam (**Gambar 9**). Pemilihan waktu ini didasarkan pula atas tidak terjadinya kontaminasi lumpur pada wadah effluen.



**Gambar 8.** Perubahan konsentrasi klorida sampel air garam 10.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi



**Gambar 9.** Persentase penyisihan klorida air garam 10.000 ppm terhadap interval waktu pengambilan sampel untuk setiap waktu detensi

#### 4. KESIMPULAN

Waktu detensi optimum pada reaktor EGD secara kontinu dengan variasi konsentrasi 1.000 ppm, 3.000 ppm, 5.000 ppm, 10.000 ppm secara berturut-turut; 11 jam pada waktu 24 jam, 36 jam, waktu detensi 21 jam pada waktu 36 jam, dan waktu detensi 11 jam pada waktu 48 jam. Pada 4 variasi konsentrasi NaCl yang digunakan sebagai air baku dalam penelitian, penyisihan tertinggi yang terjadi pada waktu detensi optimum; pada konsentrasi 1.000 ppm sebesar 18%, pada konsentrasi 3.000 ppm sebesar 17%, pada konsentrasi 5.000 ppm sebesar 7,5%, dan pada konsentrasi 10.000 ppm sebesar 5%. Penggunaan konsentrasi NaCl 5.000 ppm dan 10.000 ppm sebagai air baku memerlukan pengurasan reaktor setiap 24 jam, karena terjadi endapan lumpur pada zona outlet yang dapat mengganggu proses penyisihan klorida. Batang elektroda aluminium perlu diperbaharui karena telah terdapat kerak-kerak garam hasil proses desalinasi yang menempel. Kerak tersebut dapat merusak batang aluminium dengan menimbulkan lubang-lubang kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aul, Albert H. *ElectroGravitational Desalination of Saline Water*. U.S. Patent #3,474,014 (Cl. 204-150).
- Chang, Raymond. 1998. *Electrochemistry, Chemistry, 6<sup>th</sup> Edition*. United States of America : McGraw Hill.
- Clayton, Sophie. 2007. *Desalination: Option or Distraction*. CSIRO Publishing, page 138. FAO, [http://www.fao.org/docrep/t0667e/t0667e05.htm#classification\\_of\\_saline\\_waters](http://www.fao.org/docrep/t0667e/t0667e05.htm#classification_of_saline_waters), diakses pada tanggal 8 Januari 2010.
- Paul Chen, J., K. Wang, Lawrence, Yang, Lei. 2007. *Thermal Distillation and Electrodialysis Technologies for Desalination*. Handbook of Environmental Engineering, Volume 5: Advanced Physicochemical Treatment Technologies, page 295-326.
- Salt Institute, <http://www.saltinstitute.org/About-salt/Chemical-properties>, diakses pada tanggal 8 Januari 2010.
- Sinaga, Hendri Kurniawan. 2008. *Penyisihan Garam Menggunakan Reaktor Electro-Gravitational Desalination (EGD)*. Tugas Akhir - TL ITB.
- T. de Almeida, Anibal. 2007. *Desalination with Wind and Wave Power*. Solar Desalination for 21<sup>st</sup> Century, page 305-325.