

PENGOLAHAN AIR LIMBAH REVERSE OSMOSIS MELALUI ELEKTROLISIS UNTUK MENGHASILKAN ELEKTROLIT BERNILAI EKONOMI

Nissa M. Janani^{*1)} dan Wahyono Hadi¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kompleks Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{*}E-mail: nissa.mj1@gmail.com

Abstrak

Peningkatan penggunaan *reverse osmosis* (RO) sebagai metode desalinasi air laut untuk menghasilkan air bersih mengakibatkan naiknya produksi air limbah proses RO. Limbah yang merupakan konsentrat air laut tersebut masih memiliki berbagai kandungan mineral yang dapat diolah untuk dimanfaatkan kembali. Namun, evaporasi yang merupakan pengolahan konvensional limbah RO menghilangkan seluruh nilai ekonomi yang dimiliki oleh limbah tersebut. Elektrolisis merupakan metode pengolahan air limbah alternatif yang dapat mengolah air limbah RO. Elektrolisis limbah RO selama 12 jam dengan *Hofmann Electrolysis Apparatus* menggunakan katoda berupa perak dan anoda berupa karbon merubah susunan ion elektrolit limbah RO. Elektrolit tersebut membentuk desinfektan berupa Ca(OCL)_2 dan NaOCl , garam NaCl , dan beberapa gas seperti H_2 , O_2 , dan Cl_2 .

Kata kunci: Anoda Grafit, Desinfektan, Elektrolisis, Garam, Katoda Perak.

Abstract

The increase on the use of reverse osmosis (RO) as a sea water desalination method to produce clean water leads to the increase of RO reject wastewater. This wastewater is concentrated sea water that contain reusable minerals. Nevertheless, evaporation as conventional RO wastewater treatment eliminates economical value of the wastewater. Electrolysis is another method of RO wastewater treatment. Using Hofmann Electrolysis Apparatus with silver cathode and graphite anode for 12 hours could change the ionic composition of RO wastewater electrolyte. This electrolyte formed disinfectants such as Ca(OCL)_2 and NaOCl , NaCl salt, and several gasses such as H_2 , O_2 , and Cl_2 .

Key words: Disinfectant, Electrolysis, Graphite Anode, Salts, Silver Cathode.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan desalinasi, utamanya dengan metode *reverse osmosis* (RO) sebagai metode penyediaan air bersih menyebabkan kenaikan drastis air limbah RO. Salah satu penyebab naiknya limbah RO yang sering disebut dengan *reject water* secara

drastis adalah karena volumenya yang dapat mencapai 70% dari keseluruhan air yang diolah (Rao, 2016). Sehingga dalam satu kali pengolahan, *reject water* yang dihasilkan sangat besar. Namun RO tetap menjadi metode desalinasi yang paling banyak digunakan, salah satu faktornya adalah karena tingginya efisiensi reduksi *total dissolved*

solid (TDS) dan salinitasnya, yaitu hingga 99,6% (Wilf, 2010).

Efisiensi reduksi yang tinggi tersebut menghasilkan limbah pengolahan dengan kandungan TDS dan salinitas yang tinggi. Sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah dibuang menuju badan air, untuk mencegah rusaknya ekosistem dan biota pada badan air tersebut. Saat ini pengolahan yang banyak digunakan adalah evaporasi dengan menggunakan kolam untuk menghasilkan garam atau nigari. Bahkan terdapat pula sistem dimana padatan yang dihasilkan oleh proses evaporasi diolah secara termal dengan insenerasi. Pengolahan ini menghilangkan semua nilai ekonomi yang dimiliki oleh *reject water* tersebut.

Salah satu industri yang menggunakan metode RO adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton. Dalam siklus PLTU, dibutuhkan air demineralisasi yang diperoleh dari air tawar untuk menjaga alat-alat dari korosi (Indriaty, 2010). Di PLTU Paiton, terdapat dua jenis RO, yaitu *sea water reverse osmosis* (SWRO) dan *brackish water reverse osmosis* (BWRO). SWRO merupakan unit yang mengolah air laut, sedangkan BWRO merupakan unit yang mengolah kembali hasil olahan dari SWRO. Produk BWRO digunakan untuk operasional PLTU dan air domestik.

Penelitian ini akan mempelajari pengolahan *reject water* dengan metode elektrolisis. Metode ini dipilih karena pada proses elektrolisis ion-ion logam akan melekat pada permukaan elektroda, sedangkan senyawa organik lainnya akan berkurang atau terhilangkan toksisitasnya (Mollah *dkk.*, 2004). Kandungan pada elektrolit yang dihasilkan oleh elektrolisis bergantung pada kandungan awalnya. Pada larutan dengan salinitas tinggi dihasilkan elektrolit berupa basa. Sedangkan pada larutan dengan salinitas rendah, dapat dihasilkan hipoklori (Abdel-Aal *dkk.*, 2010).

2. METODA PENELITIAN

Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari adanya ion-ion dan mineral pada limbah RO yang memiliki potensi pemanfaatan kembali. Ion-ion tersebut memerlukan pengolahan terlebih dahulu untuk menghasilkan produk dengan nilai ekonomi. Maka diperlukan penelitian mengenai pembentukan ion elektrolit dan produk lain yang dapat dihasilkan oleh limbah RO untuk mengetahui potensi pemanfaatan limbah tersebut.

Persiapan Penelitian

Sampel air limbah RO didapatkan dari dua jenis proses RO pada PLTU Paiton, yaitu SWRO dan BWRO. Pada kedua sampel, diuji karakteristik awalnya terlebih dahulu. Karakterisasi limbah dilakukan terhadap parameter Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , OH^- , OCI^- , TDS, dan pH. Selain itu dilakukan persiapan reaktor elektrolisis (Hofmann Electrolysis Apparatus) serta alat dan bahan lain yang digunakan untuk analisis sampel.

Tabel 1. Karakteristik awal limbah

Parameter	Satuan	BWRO	SWRO
Na^+	mg/L	125	7000
Mg^{2+}	mg/L	32.57	1765.71
Ca^+	mg/L	0	400
K^+	mg/L	10	1111
HCO_3^-	mg/L	56	132
Cl^-	mg/L	716	17860
SO_4^-	mg/L	17.19	3223.38
OH^-	mg/L	0	0
OCI^-	mg/L	0	0
TDS	mg/L	1060	26400
Salinitas	psu	1,19	33,2
pH	-	6.55	8.15

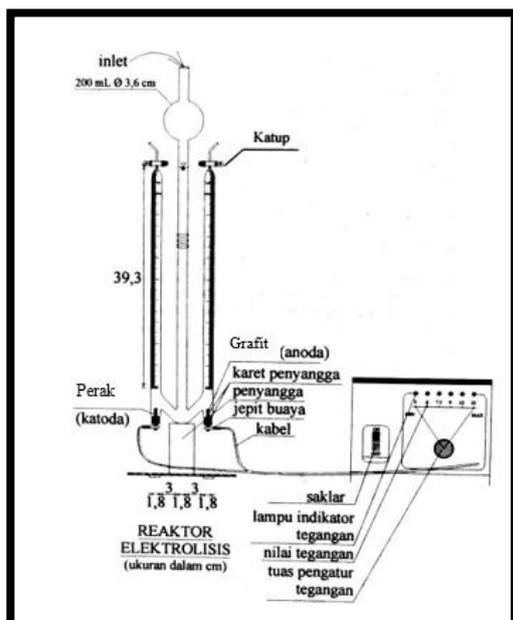
Sumber: Hasil analisis

Pelaksanaan Penelitian

Elektrolisis pada penelitian ini dilakukan selama 12 jam. Elektroda yang digunakan adalah Perak (Ag) pada katoda dan Grafit (C) pada anoda dengan ukuran yang sama, yaitu dengan diameter 1 cm dan panjang 10 cm.

Selama proses elektrolisis, elektroda akan dialiri listrik dengan variasi tegangan 6V, 9V dan 13,8V. Perlakuan ini berlaku untuk kedua variasi jenis sampel (sampel SWRO dan BWRO).

Dilakukan pula pembuktian jenis gas yang terbentuk pada masing-masing elektroda dengan menggunakan tabung reaksi dan sebatang lidi. Tabung reaksi akan digunakan untuk memerangkap gas yang terbentuk pada kedua elektroda. Ujung lidi dibakar namun api dinyalakan sehingga hanya menghasilkan nyala api. Kemudian ujung lidi tersebut dimasukkan kedalam tabung reaksi. Jenis nyala api yang terbentuk akan menunjukkan jenis gas yang terbentuk pada elektroda tersebut.



Gambar 1. Rangkaian Reaktor Elektrolisis

Pada akhir proses, dilakukan uji karakteristik akhir untuk mengetahui perubahan kandungan sampel sebelum dan setelah dilakukan elektrolisis. Perubahan ini dapat menunjukkan seberapa besar pengaruh pengolahan elektrolisis terhadap limbah RO serta hubungannya terhadap karakteristik sampel dan tegangan yang digunakan.

Pengolahan Data

Data yang diolah adalah data primer yang di dapatkan selama tahap penelitian inti. Data karakteristik elektrolit yang dihasilkan oleh proses elektrolisis dianalisis dengan menggunakan *bar graph* stokiometri, sehingga dapat diketahui ikatan-ikatan yang terjadi pada senyawa yang ada dalam elektrolit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Operasi Proses Elektrolisis

Pada elektrolisis, elektroda merupakan salah satu faktor utama penentu efektivitas prosesnya. Elektroda akan dialiri dengan arus listrik searah sehingga menghasilkan gas. Masing-masing sampel air limbah RO mengalami kenaikan rata-rata arus listrik seiring dengan kenaikan tegangan yang digunakan. Hal ini sesuai dengan Hukum Ohm, dimana tegangan berbanding lurus dengan arus dan resistansi. Sehingga pada nilai resistansi yang sama (sampel atau elektrolit yang sama), kenaikan tegangan akan menyebabkan kenaikan arus.

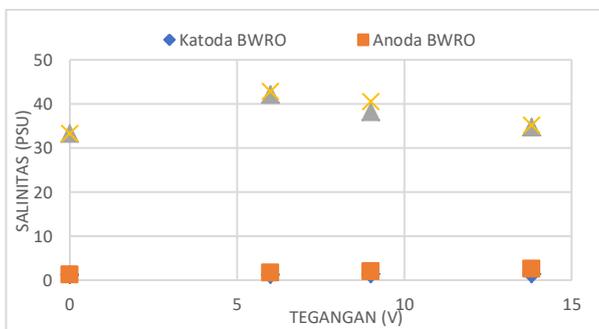
Pada prosesnya, terbentuk gelembung-gelembung gas pada kedua kompartemen elektroda. Gelembung tersebut kemudian naik ke puncak reaktor, terakumulasi, dan menjadi gas yang tertahan pada kompartemen. Gas yang diproduksi di masing-masing kompartemen elektroda diidentifikasi jenisnya.

Identifikasi yang telah dilakukan membuktikan bahwa gas hidrogen terbentuk

pada kompartemen katoda, baik pada elektrolisis sampel SWRO maupun BWRO. Pada kompartemen anoda sampel BWRO terbentuk gas oksigen, karena lidi terbakar saat dimasukkan pada tabung reaksi. Sedangkan pada kompartemen anoda sampel SWRO tidak terindikasi pembentukan oksigen, karena saat lidi dimasukkan dalam tabung reaksi, nyala api langsung mati. Namun terdapat bau klor yang sangat menyengat dari tabung reaksi tersebut. Hal ini mengindikasikan gas yang terbentuk bukanlah oksigen, melainkan gas klor.



Gambar 2. Grafik Perubahan TDS Elektrolit terhadap Tegangan



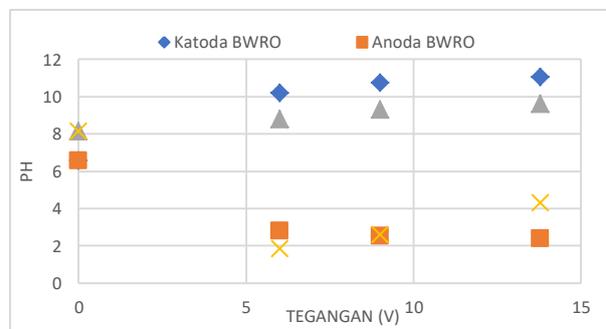
Gambar 3. Grafik Perubahan Salinitas Elektrolit terhadap Tegangan

Perubahan TDS, Salinitas, dan pH Elektrolit

Parameter umum yang digunakan untuk melihat perubahan kandungan ion pada elektrolit adalah TDS, salinitas, dan pH. Tren perubahan parameter tersebut dianalisis dan diolah menjadi Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.

Grafik tersebut menunjukkan adanya persamaan dalam tren perubahan TDS dan salinitas elektrolit. Persamaan tren ini disebabkan karena TDS dan salinitas merupakan dua parameter yang saling berhubungan. Kecuali pada elektrolisis air limbah SWRO dengan tegangan 13,8V, terjadi kenaikan TDS dan salinitas jika dibandingkan dengan karakteristik awalnya. Semakin besar tegangan yang digunakan pada elektrolisis, maka produksi hidrogen dan nilai TDS juga semakin besar (Abdel-Aal *dkk.*, 2010). Hal ini berkaitan dengan kenaikan konduktivitas dan Hukum Ohm, dimana nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan resistansi dan berbanding lurus dengan tegangan dan arus.

Namun pada elektrolisis air limbah SWRO dengan tegangan 13,8 V terjadi penurunan nilai TDS dan salinitas pada kedua elektroda. Hal ini dapat disebabkan oleh *overpotensial* yang terlalu tinggi pada proses elektrolisis. Sehingga banyak ion terlarut yang tereduksi atau teroksidasi secara lebih sempurna.

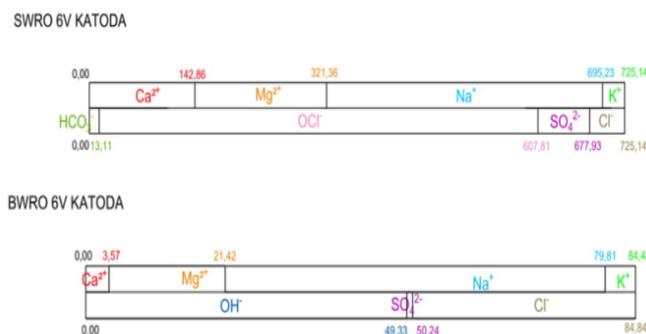


Gambar 4. Grafik Perubahan pH Elektrolit terhadap Tegangan

Hal ini didukung dengan terbentuknya endapan yang melekat pada katoda setelah proses elektrolisis sampel ini berakhir. Endapan tersebut berwarna putih dan mulai terbentuk pada jam ketujuh proses elektrolisis.

Selain perubahan pada parameter TDS dan salinitas, pH sampel dan elektrolit juga diamati untuk melihat perubahannya. Grafik perubahan pH pada elektrolit terdapat pada

Gambar 4. Berdasarkan pada grafik tersebut, terjadi kenaikan pH di kompartemen katoda dan penurunan pH di kompartemen anoda pada kedua sampel. Perubahan pH ini berkaitan dengan reaksi kimia yang terjadi pada masing-masing kompartemen elektroda. Pada kompartemen katoda terjadi reduksi air yang menyebabkan terbentuknya gas hidrogen dan ion hidroksida. Ion hidroksida tersebut adalah penyebab kenaikan pH elektrolit pada kompartemen katoda. Sebaliknya, elektrolit yang terbentuk pada kompartemen anoda mengalami penurunan pH. Pada elektrolisis air limbah BWRO, hal ini disebabkan oleh pembentukan ion hidrogen di elektrolit karena terjadinya oksidasi air. Sedangkan pada elektrolisis air limbah SWRO, air berikatan dengan klorida pada elektrolit yang menyebabkan terbentuknya asam klorida. Asam klorida tersebut mengakibatkan turunnya pH dari sampel awal.



Gambar 5. Diagram Batang Miliekivalen per Liter Sampel Limbah RO

Perubahan Susunan Ion pada Elektrolit

Analisis ionik pada produk elektrolit yang dihasilkan oleh elektrolisis dengan air limbah SWRO dan BWRO dilakukan dengan parameter ion sebagaimana tertera pada Metode Penelitian. Hasil analisis ion pada elektrolit diolah dengan menggunakan *bargraph milliequivalent per liter* atau diagram batang miliequivalen per liter untuk mengetahui kemungkinan pembentukan senyawa pada elektrolit. Sehingga harus

dilakukan konversi dari satuan mg/L menjadi miliekivalen per liter (meq/L). Gambar 5 merupakan contoh diagram batang yang telah dibuat.

Berdasarkan analisis tersebut, senyawa yang terbentuk dengan konsentrasi terbesar pada elektrolisis sampel BWRO adalah NaCl, Mg(HCO₃)₂, NaOH, dan NaHCO₃. Sedangkan pada elektrolisis sampel SWRO, senyawa dengan konsentrasi terbesar adalah Ca(OCl)₂, Mg(OCl)₂, dan NaOCl. Elektrolisis *brine water* akan menghasilkan larutan basa. Sedangkan elektrolisis pada air laut akan menghasilkan desinfektan berupa hipoklorit (Balagopal *dkk.*, 2006). Sampel air limbah SWRO yang merupakan konsentrat air laut, belum bisa dikategorikan pada *brine water*. Hal ini ditunjukkan dengan hasil elektrolisis sampelnya yang menghasilkan hipoklorit, bukan larutan basa. Sedangkan elektrolisis air limbah BWRO menghasilkan elektrolit dengan berbagai kandungan ion, salah satunya adalah garam.

Lebih lanjut, produksi hidrogen sebagai produk utama elektrolisis dengan air baku air laut dapat terjadi dengan tiga kemungkinan (Temeev *dkk.*, 2006):

- a. Elektrolisis untuk memproduksi hidrogen, oksigen, dan berbagai alkali;

Tabel 2. Pembentukan Ion pada Elektrolit

Sampel	Ion yang Terbentuk	Konsentrasi (mg/L)
SWRO 6V		
Katoda	NaOCl	10654.69
Anoda	Ca(OCl) ₂	15393.92
SWRO 9V		
Katoda	Ca(OCl) ₂	13511.60
Anoda	Ca(OCl) ₂	12786.46
SWRO 13.8V		
Katoda	NaOCl	13813.22
Anoda	Ca(OCl) ₂	12634.54
BWRO 6V		
Katoda	NaCl	1727.59
Anoda	NaCl	1578.64
BWRO 9V		
Katoda	NaCl	1999.81

Sampel	Ion yang Terbentuk	Konsentrasi (mg/L)
Anoda	NaCl	1527.31
BWRO 13.8V		
Katoda	NaCl	2231.35
Anoda	NaCl	2272.32

- b. Elektrolisis untuk memproduksi hidrogen, oksigen, klorin, dan berbagai alkali;
- c. Elektrolisis untuk memproduksi hidrogen dan natrium hipoklorit (NaOCl).

Maka apabila merujuk pada penjelasan tersebut, elektrolisis SWRO mengalami proses ketiga. Sedangkan elektrolisis BWRO mengalami proses pertama. Berbagai senyawa yang terbentuk pada elektrolit hasil elektrolisis air limbah BWRO dan SWRO masih memiliki nilai potensi ekonomi dan dapat dimanfaatkan kembali. Senyawa yang memiliki potensi pemanfaatan dengan konsentrasi terbesar pada masing-masing variabel terdapat pada Tabel 2.

Pada sampel SWRO, senyawa dengan konsentrasi pembentukan terbesar adalah senyawa-senyawa dengan ion hipoklorit (OCI). Ion hipoklorit tersebut berikatan dengan ion kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan natrium (Na^+). Dari ketiga jenis senyawa hipoklorit tersebut, senyawa $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ dan NaOCl adalah senyawa-senyawa yang dijual bebas sebagai desinfektan.

$\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (kalsium hipoklorit) atau lebih sering dikenal sebagai kaporit merupakan oksidator kuat yang larut dalam air. Kaporit dijual dalam bentuk padat berupa serbuk, *granular*, maupun tablet.

NaOCl (Natrium Hipoklorit) atau banyak dikenal sebagai *duclean* adalah agen pemutih (*bleaching*) yang banyak digunakan sebagai pembasmi kuman, penghilang baum dan penghilang noda warna.

Pembentukan NaCl pada sampel BWRO tersebut berhubungan dengan adanya ion Na^+ dan Cl^- bebas pada elektrolit sehingga kedua ion lebih mudah berikatan (Saleet *dkk.*, 2017). Hal ini didukung dengan pembentukan senyawa NaCl pada semua elektrolit hasil variabel elektrolisis dengan konsentrasi yang besar jika dibandingkan dengan senyawa lainnya.

Namun sebagaimana telah digambarkan pada diagram batang ion-ion penyusun elektrolit, senyawa yang terbentuk masih berada dalam satu larutan. Sehingga elektrolit tersebut membutuhkan pengolahan lebih lanjut untuk pemurnian ataupun ekstraksinya.

Mass Balance Elektrolit

Mass balance (kesetimbangan massa) merupakan analisis terhadap proses pengolahan yang digunakan untuk mengetahui aliran massa bahan masuk dan keluar pada proses tersebut, sehingga satuan yang digunakan adalah satuan massa (Sötemann, 2006). Pada proses elektrolisis yang telah dilakukan, dibuat kesetimbangan massa berdasarkan pada nilai *Total Dissolved Solid* (TDS).

Parameter TDS digunakan karena TDS mencakup seluruh ion, garam, dan komponen yang terlarut dalam limbah yang digunakan. Pengukuran TDS tidak membedakan jenis ion yang terlarut didalamnya.

Pada input kesetimbangan massa, digunakan TDS limbah yang diukur tepat sebelum elektrolisis dilakukan dan dikonversi menjadi satuan massa, yaitu milligram (mg). Sedangkan output TDS mencakup massa ion (TDS) elektrolit, massa komponen yang luruh atau menempel pada elektroda, massa gas yang diproduksi, dan kehilangan yang ada pada sistem. Data kesetimbangan massa pada seluruh perlakuan terdapat pada Tabel 3.

Selisih pada Tabel 3 tersebut merupakan massa yang hilang dalam sistem. Salah

Tabel 3. Keseimbangan Massa Elektrolit

Variabel	BWRO 6V	BWRO 9V	BWRO 13.8V	SWRO 6V	SWRO 9V	SWRO 13.8V
Awal (mg)	484.55	388.93	369.43	8570.7	8347.5	8056.00
Elektrolit (mg)						
Katoda	166.80	158.86	181.48	4180.8	3702.3	3889.60
Anoda	196.22	224.41	274.07	4080.0	3837.7	3599.00
Gas (mg)						
Katoda	0.28	1.71	2.88	19.97	35.25	59.09
Anoda	0.40	1.46	2.00	40.57	260.4	559.13
Elektroda (mg)						
Katoda	90.00	0.00	1.20	50.00	404.60	59.10
Anoda	10.00	0.00	-92.90	96.00	84.30	-116.90
Total (mg)	463.71	386.45	368.72	8467.3	8324.6	8049.02
Selisih (mg)	20.84	2.48	0.70	103.36	22.83	6.98
Selisih (%)	4%	1%	0%	1%	0%	0%

satunya disebabkan oleh adanya sejumlah kecil volume limbah pada reaktor yang berada pada rongga penyangga reaktor. Masa yang hilang atau *loses* tersebut merupakan sebagian kecil dari limbah yang tidak mengalami proses pengolahan karena adanya *dead zone*. Limbah pada proses elektrolisis ini tidak mengalami kontak secara langsung dengan elektroda dan memiliki outlet yang berbeda pada reaktor. Kecilnya volume menyebabkan TDSnya tidak dapat diukur.

Nilai negatif pada anoda menunjukkan adanya sebagian dari elektroda yang meluruh, mengakibatkan adanya penambahan massa ion pada elektrolit. Namun karena massa tersebut bukan berasal dari limbah awal, maka harus dikurangkan. Pada kedua sampel, anoda luruh pada tegangan tertinggi, yaitu 13,8 V. Hal ini berhubungan dengan kuat hantar anoda yang berbahan grafit (Yuvaraj dan Santhanaraj, 2014).

Semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka arus yang dihantarkan oleh elektroda semakin besar. Luruhnya grafit menunjukkan bahwa material tersebut tidak dapat mengimbangi laju arus listrik pada proses. Luruhnya elektroda dapat disebabkan oleh semakin cepatnya perpindahan ion pada elektrolit seiring dengan naiknya tegangan yang digunakan. Frekuensi tumbukan dan gesekan pada permukaan elektroda yang

semakin besar mengakibatkan elektroda lebih rentan luruh (Widodo *dkk.*, 2008). Sedangkan nilai positif menunjukkan adanya komponen yang menempel pada elektroda di akhir proses elektrolisis. Pada penelitian ini tidak dianalisis komponen yang menempel tersebut. Namun elektrolisis air alkali dapat menyebabkan deposisi berupa logam seperti besi dan tembaga pada elektrodanya (Hardee dan Bard, 1976).

Berdasarkan pada keseimbangan massa tersebut, elektrolisis limbah BWRO menunjukkan adanya fluktuasi pada massa ion elektrolit. Hal ini berhubungan dengan fluktuasi komponen yang menempel dan meluruh pada elektroda, sehingga massa input dan output pada masing-masing sistem masih seimbang. Sedangkan pada sampel SWRO terbentuk tren yang stabil pada elektrolit dan gasnya, dimana penurunan massa pada elektrolit akan terjadi seiring dengan naiknya massa gas yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Elektrolisis SWRO dengan TDS awal 26.400mg/L menghasilkan desinfektan berupa Ca(OCl)_2 dengan konsentrasi terbesar 15.393,92 mg/L dan NaOCl dengan konsentrasi terbesar 13.813,22 mg/L, sedangkan elektrolisis BWRO dengan TDS

awal 1.060mg/L menghasilkan garam NaCl dengan konsentrasi terbesar 2.272,32mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal, H.K., Zohdy, K.M., dan Kareem, M. Abdel. (2010). "Hydrogen Production Using Sea Water Electrolysis". *The Open Fuel Cells Journal* Vol. 3, 01-07
- Balogopal, Shekar., Malhotra, Vinod., Pendleton, Justin., dan Reid, Kathy Jo. (2006). "Electrolytic Process to Produce Sodium Hypochlorite Using Sodium Ion Conductive Ceramic Membranes". United States Patent; US 8,268,159 B2
- Hardee, K. L. dan Bard, A. J. (1976). "Semiconductor Electrodes: V. The Application of Chemically Vapor Deposited Iron Oxide Films to Photosensitized Electrolysis". *Journal of The Electrochemical Society* Vol. 123, 1024-1026
- Indriaty, Putri Wahyuni. (2010). "Analisis Efisiensi Desalinasi Unit 1 B Pt. Pembangkit Jawa Bali UP. Muara Karang". Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, A. G., Kesmez, M., Parga, J., dan Cocke D. L. (2004). "Fundamentals, Present and Future Perspectives of Electrocoagulation". *Journal of Hazard. Materials* Vol. B114, 199–210
- Rao, Sharat V. Agustus (2016). "Reverse Osmosis Reject Water – Methods of Disposal". *Indian Plumbing Today*, 26-28
- Saleet, Hanan., Abdallah, Salah., dan Yousem, Essaf. (2017). "The Effect of Electrical Variables on Hydrogen and Oxygen Production Using a Water Electrolyzing System". *International Journal of Applied Engineering Research* Vol 12, 3730-3739
- Sötemann, SW., Wentzel, MC., dan Ekama, GA.(2006). "Mass Balance-Based Plant-Wide Wastewater Treatment Plant Models – Part 4: Aerobic Digestion of Primary and Waste Activated Sludges". *Journal of Water SA* Vol. 32, 297-306
- Temeev, A. A., Belokopytov, Viktor P., dan Temeev, Sergey A. (2006). "An Integrated System of the Floating Wave Energy Converter and Electrolytic Hydrogen Producer". *Journal of Renewable Energy* Vol. 31, 225-239
- Widodo, Didik Setiyo., Gunawan, dan Kristanto, Wahyu Adi. (2008). "Elektroremediasi Perairan Tercemar: Penggunaan Grafit pada Elektrokolorisasi Larutan Remazol Black B". *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* Vol. 11, 34-37
- Wilf, Mark. (2010). "Future of the Osmotic Processes". *Journal of Desalination and Water Treatment* Vol. 15, 292-298
- Yuvaraj, A.L., dan Santhanaraj, D. (2014). "A Systematic Study on Electrolytic Production of Hydrogen Gas by Using Graphite as Electrode". *Journal of Materials Research* Vol. 17, 83-87