

## Karakteristik dan Penggunaan Air *Reject Sea Water Reverse Osmosis* PT Cirebon Electric Power sebagai Elektrolit Sel Volta dan Bahan Baku Garam

### Characteristics and Applications of Sea Water Reverse Osmosis Reject Water of PT Cirebon Electric Power as Voltaic Cell Electrolyte and Salt Raw Material

Sigit Setyawan<sup>a</sup>, Ilham Satria Raditya Putra<sup>a</sup>, Agik Dwika Putra<sup>a</sup>, Satya Nugroho<sup>a</sup>, Dimas Agung Pramudikto<sup>b</sup>, dan Teguh Ariyanto<sup>b\*\*</sup>

<sup>a</sup>PT Cirebon Electric Power, Jalan Raya Cirebon – Tegal KM 8,5, Kanci Kulon, Astanajapura, Cirebon 45181, Indonesia

<sup>b</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl Grafika No 2 Kampus UGM, 55281 Yogyakarta

\*teguh.ariyanto@ugm.ac.id

#### Artikel histori :

Diterima 14 Agustus 2021  
Diterima dalam revisi 03 Juli 2022  
Diterima 04 Juli 2022  
Online 28 Juli 2022

**ABSTRAK:** Air *reject* Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) yang dihasilkan PT Cirebon Electric Power selama ini pemanfaatannya belum maksimal. Pada penelitian ini, studi karakteristik air *reject* SWRO dilakukan untuk mengetahui properti-properti penting seperti turbiditas, konduktivitas, pH dan salinitas. Karakteristik ini penting sebagai dasar pertimbangan aplikasi air *reject* SWRO. Selain itu, data studi karakteristik diambil dari rentang periode yang cukup lama yaitu 5 tahun operasi SWRO (2016-2021) agar konsistensi data dapat diketahui. Hasil studi menunjukkan bahwa air *reject* SWRO memiliki turbiditas yang rendah ( $0,18 \pm 0,08$  NTU), konduktivitas yang tinggi sekitar  $76.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , pH netral dan salinitas tinggi ( $4,6 \pm 0,3\%$ ). Studi pemanfaatan air *reject* SWRO kemudian dilakukan yaitu sebagai elektrolit lampu air garam dan sebagai bahan baku pembuatan garam. Hasil studi menunjukkan bahwa air *reject* SWRO dapat digunakan sebagai elektrolit lampu air garam yang menghasilkan beda potensial hingga 1,4 Volt (lebih tinggi 20% dari elektrolit air laut). Sebagai bahan baku garam, garam yang diproduksi memiliki karakteristik yang sangat baik (misalnya NaCl 99%) dan memenuhi SNI 3556:2016, kecuali kadar  $\text{KIO}_3$  yang perlu ditambahkan.

**Kata Kunci:** air *reject* SWRO; garam; PT CEP; sel Volta

**ABSTRACT:** Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) reject water produced by PT Cirebon Electric Power has not been optimally utilized. In this research, a study of the characteristics of SWRO reject water was carried out to determine important properties such as turbidity, conductivity, pH and salinity. This characteristic is important as a basis for consideration of SWRO reject water applications. In addition, data were taken from a fairly long period of 5 years of SWRO operation (2016-2021) so that the consistency of the data can be known. The results showed that SWRO reject water had low turbidity ( $0.18 \pm 0.08$  NTU), high conductivity of ca.  $76.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , neutral pH and high salinity ( $4.6 \pm 0.3\%$ ). The study of the utilization of SWRO reject water was then carried out, namely as an electrolyte for salt water lamps and as raw material for making salt. The results showed that SWRO reject water can be used as an electrolyte for salt water lamps which produces a voltage potential up to 1.4 Volts (20% higher than seawater electrolyte). As a raw material for salt, the salt produced has excellent characteristics (eg 99% NaCl) and complies with SNI 3556:2016, except for the  $\text{KIO}_3$  content.

**Keywords:** SWRO reject water; salt; PT CEP; Voltaic cell

#### 1. Pendahuluan

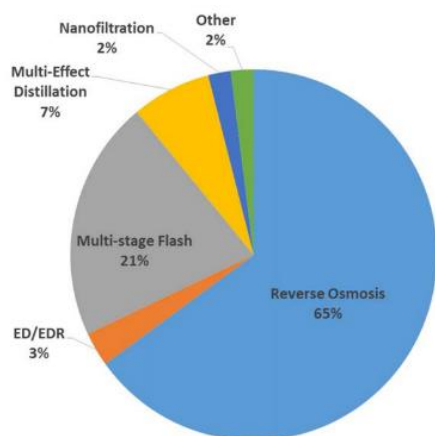
PT Cirebon Electric Power (PT CEP) merupakan perusahaan listrik yang berlokasi di pesisir Jawa Barat. PT CEP beroperasi dengan desain kapasitas 660 MW dan menggunakan teknologi boiler superkritis. Teknologi ini merupakan teknologi boiler terkini yang memungkinkan

pemakaian batu bara yang efisien dan meminimasi emisi yang ditimbulkan (Cirebon Electric Power, 2021). Di boiler, *boiler feed water* (air umpan boiler) diuapkan menjadi steam dengan memanfaatkan panas pembakaran batu bara. Steam kemudian digunakan untuk memutar turbin dan kemudian listrik dihasilkan di generator. Air umpan boiler diproduksi dari air laut dengan menggunakan

\* Corresponding Author  
Email: teguh.ariyanto@ugm.ac.id

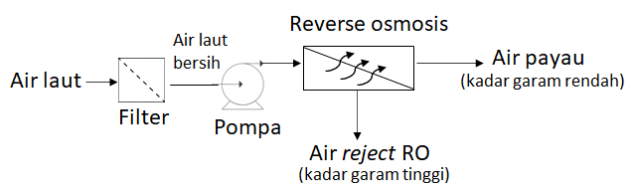
teknologi Sea Water Reverse Osmosis (SWRO). Teknologi SWRO saat ini merupakan teknologi terpopuler di proses desalinasi air laut, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Skema sederhana proses SWRO menghasilkan air payau seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pertama kali air laut difiltrasi untuk mengurangi kadar padatan tersuspensi. Setelah itu, air bersih dipompa hingga memiliki tekanan tinggi (sekitar  $54,7 \text{ kg/cm}^2$ ) dan masuk ke alat SWRO. Pada bagian ini, akan dihasilkan 2 aliran yaitu permeat berupa air payau dengan kadar garam rendah dan air *reject* SWRO. Beda tekanan antara air masuk dan keluar adalah sekitar  $2,3 \text{ kg/cm}^2$ .



**Gambar 1.** Teknologi desalinasi yang digunakan berdasarkan kapasitas produksi air desalt (gambar diambil dari Cohen dkk., (2017)).

Permeat selanjutnya dapat diolah lebih lanjut dengan *Brackish Water Reverse Osmosis* (BWRO) hingga didapatkan air umpan boiler. Air *reject* SWRO kemudian dikembalikan ke laut, setelah melewati proses penyesuaian kondisi agar sesuai baku mutu lingkungan.



**Gambar 2.** Skema ringkas desalinasi air laut dengan *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO)

Jumlah air *reject* SWRO yang dihasilkan oleh PT CEP sekitar  $135 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Berdasarkan skema proses desalinasi dengan SWRO, dapat dipahami bahwa air *reject* ini memiliki kadar salinitas tinggi dan cenderung lebih bersih dari air laut. Oleh karena itu, air *reject* SWRO memiliki potensi untuk dimanfaatkan lebih lanjut.

Pada paper ini, studi karakteristik air *reject* SWRO dan upaya pemanfaatannya dilaporkan. Studi karakteristik yang komprehensif sangat diperlukan untuk menjawab apakah benar air *reject* SWRO memiliki karakteristik yang cocok untuk aplikasi dan memiliki parameter yang konsisten. Di

bagian uji pemanfaatan, air *reject* SWRO dicoba untuk digunakan sebagai elektrolit lampu air garam dan pembuatan garam. Selain karena potensial, kedua aplikasi ini dipilih karena adanya unsur kemanfaatan bagi masyarakat sekitar PT CEP.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Uji Karakteristik Air Laut dan Air *Reject* SWRO

Salinitas air laut dan air *reject* SWRO dianalisis dengan metode APHA 22<sup>nd</sup> 2520-B-2012 di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi, Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. Data turbiditas, konduktivitas, dan pH air laut, inlet SWRO dan permeat pada rentang 5 tahun operasi SWRO (2016-2021) dianalisis dengan alat monitoring pH dan turbiditas meter. Karakteristik air *reject* SWRO dihitung dengan menggunakan neraca massa kadar air laut dan permeat. Karakteristik turbiditas, konduktivitas, pH dan salinitas yang diperoleh akan dibandingkan antara air laut dan air *reject* dan dibahas pengaruhnya terhadap aplikasi air *reject* SWRO secara kualitatif.

### 2.2 Studi Pemanfaatan Air *Reject* SWRO

#### a. Uji sebagai elektrolit lampu air garam

Uji sel Volta dilakukan menggunakan Anoda (batang Mg), Katoda (grafit), dan elektrolit air *reject* SWRO. Batang Mg diperoleh dari PT Duta Nichirindo Pratama. Sel yang dirangkai merupakan satu *single* rangkaian sel dengan total volume sel adalah 100 mL.

#### b. Uji sebagai bahan baku pembuatan garam

Garam dari air *reject* SWRO dibuat dengan cara menguapkan air dengan metode Geomembran. Ilustrasi pembuatan garam ditunjukkan pada Gambar 3. Garam yang terbentuk kemudian dianalisis kadar garam, kadar air, bagian tidak terlarut,  $\text{KIO}_3$  dan cemaran logam dengan menggunakan standar/metode uji SNI 3556:2016 di Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Industri Agro, Bogor.



**Gambar 3.** Pembuatan garam dengan bahan baku air *reject* SWRO dengan metode Geomembrane di petani garam sekitar PT CEP

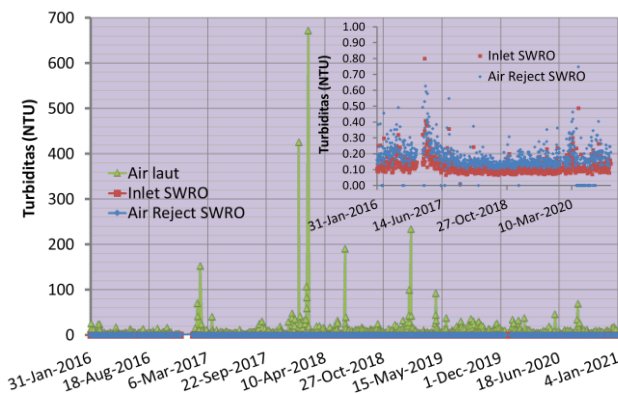
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Karakteristik Air Reject SWRO

Karakteristik air *reject* SWRO yang penting untuk penentuan aplikasi ditampilkan dan dibahas pada bagian ini. Karakteristik tersebut yaitu turbiditas, konduktivitas, pH dan salinitas.

##### a. Turbiditas

Turbiditas merupakan karakteristik optik dari cairan dan dapat menunjukkan tingkat kekeruhan dari suatu bahan. Tingkat kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan yang terlarut ataupun tersuspensi misalnya berupa lempung, lumpur, bahan organik, algae dan mikroorganisme (Lepar dkk., 2007). Turbiditas air laut, air inlet SWRO dan air *reject* SWRO ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai turbiditas dari air laut bervariasi cukup tajam dari waktu ke waktu dari 0,62-670 NTU (rerata  $9,62 \pm 27,82$  NTU). Hal ini tentunya dapat dimengerti karena kualitas air laut sangat dipengaruhi oleh cuaca, misal dalam kondisi hujan maka turbiditas akan meningkat. Nilai maksimal yang diizinkan untuk turbiditas air laut yang akan diproses lanjut adalah 14 NTU. Pada kondisi melebihi ambang batas, unit SWRO dihentikan agar tidak mengalami permasalahan operasi dan teknis. Untuk inlet SWRO dan air *reject* SWRO, nilai turbiditas kedua bahan tersebut lebih kecil dari 1 NTU (lihat inset Gambar 4). Nilai rerata turbiditas air *reject* SWRO adalah  $0,18 \pm 0,08$  NTU. Nilai turbiditas dari air *reject* SWRO sekitar 1,5 kali lebih besar dari air inlet SWRO karena memang partikel tidak melewati membrane RO dan terbawa oleh air *reject*. Secara umum, data menunjukkan bahwa turbiditas air *reject* SWRO sangat kecil dan terjaga kualitasnya dari waktu ke waktu dan sesuai seperti disampaikan di literatur (Kumar dkk., 2017).

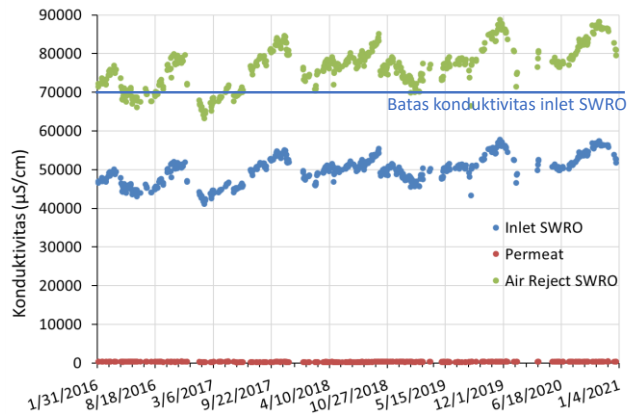


**Gambar 4.** Turbiditas air laut, inlet SWRO dan air *reject* SWRO dari 2016-2021 di unit SWRO PT CEP. Inset: Perbesaran untuk data inlet SWRO dan air *reject* SWRO.

##### b. Konduktivitas

Konduktivitas air inlet SWRO, permeat, dan air *reject* SWRO ditunjukkan pada Gambar 5. Konduktivitas dapat merepresentasikan jumlah kadar garam terlarut dalam suatu

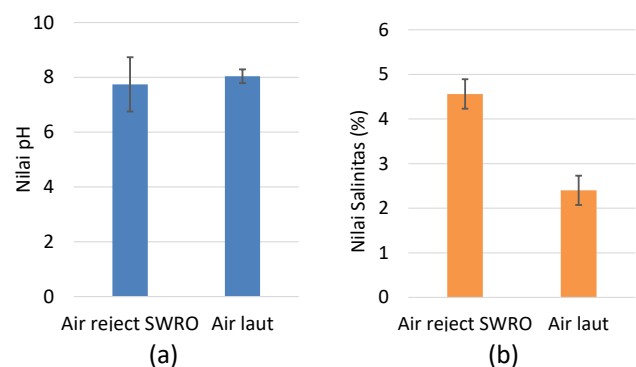
cairan. Konduktivitas inlet SWRO berkisar pada nilai 50.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Setelah melewati proses pemisahan di membrane RO, didapatkan konduktivitas permeat sekitar 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan konduktivitas air *reject* SWRO sekitar 76.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dengan demikian, rejeksi garam  $> 99\%$  didapatkan dari proses SWRO. Gambar 5 menunjukkan pula nilai ambang batas dari konduktivitas inlet SWRO (70.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Proses SWRO tidak dapat dijalankan ketika konduktivitas inlet melebihi ambang batas ini karena dapat menyebabkan permasalahan berupa prestisipasi material karena tingginya kadar garam di air *reject*.



**Gambar 5.** Konduktivitas inlet SWRO, permeat, dan air *reject* SWRO dari 2016-2021 di unit SWRO PT CEP

##### c. pH dan salinitas

pH dan salinitas air *reject* SWRO ditunjukkan pada Gambar 6. Sebagai pembandingan diberikan pula data untuk air laut. Air SWRO memiliki pH yang setara dengan air laut, karena penyesuaian pH sudah dilakukan dengan injeksi NaOH. pH yang mendekati air laut diperlukan dan memenuhi syarat baku mutu. Air *reject* SWRO memiliki salinitas  $4,6 \pm 0,3\%$ . Nilai ini hampir 1,9 kali lebih besar dibandingkan dengan salinitas air laut. Salinitas dapat menggambarkan jumlah garam yang terlarut dalam air laut, seperti NaCl dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Garam-garam tersebut terlarut dan dalam bentuk kation dan anionnya.

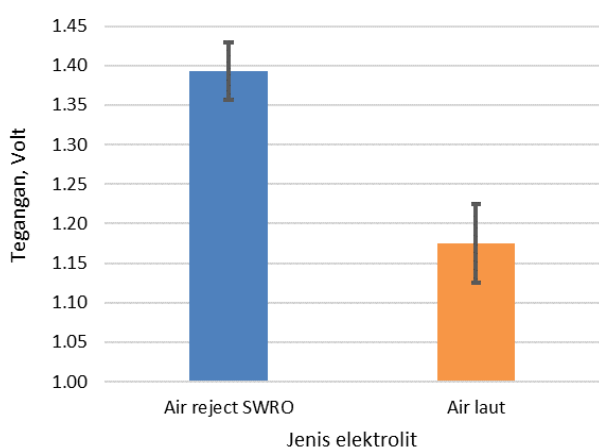


**Gambar 6.** pH (a) dan salinitas (b) air *reject* SWRO dibandingkan dengan air laut.

### 3.2 Hasil Uji Sel Galvani Lampu Air Garam dengan Elektrolit Air *Reject* SWRO

Air *reject* SWRO memiliki turbiditas yang sangat rendah dan memiliki salinitas serta konduktivitas yang tinggi. Salinitas air *reject* SWRO berada pada rentang salinitas 3-5% dimana memiliki potensi untuk digunakan sebagai elektrolit lampu air garam. Lampu air garam dikonstruksi berdasar prinsip sel Volta dimana ada anoda, katoda dan elektrolit. Reaksi oksidasi terjadi di anoda dalam hal ini adalah Mg menjadi  $Mg^{2+}$ . Sedangkan reaksi reduksi terjadi di katoda yang dalam hal ini reduksi  $O_2$  menjadi  $OH^-$  (Chandler dkk., 2015; Fuller and Harb, 2018). Dalam reaksi reduksi-oksidasi tersebut membutuhkan elektrolit sebagai media penghantar listrik (Oxtoby dkk., 2008).

Gambar 7 menunjukkan hasil beda potensial yang diamati ketika menggunakan elektrolit air *reject* SWRO dan air laut. Air *reject* SWRO mampu menghasilkan beda potensial hingga 1,4 Volt untuk satu sel tunggal. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan menggunakan elektrolit air laut (hingga 20%). Secara standar komersial, penggunaan lampu air garam dengan anoda Mg dan katoda grafit mampu menghasilkan hingga 1,6 Volt untuk satu sel tunggal, tetapi menggunakan elektrolit berupa larutan garam (garam dapur yang dilarutkan) (PT. Duta Nichirindo Pratama, 2016). Tingginya tegangan yang dihasilkan jika menggunakan air *reject* SWRO dibanding air laut dapat dihubungkan dengan konsentrasi ion yang dilambangkan dengan salinitas dan konduktivitas elektrolit yang baik. Dari hasil studi karakteristik, air *reject* memiliki salinitas sekitar 5% (lebih tinggi sekitar 1,9 kali dibanding air laut) dan konduktivitas sekitar 76.000  $\mu S/cm$  (lebih tinggi sekitar 1,5 kali dibanding air laut) dimana nilai tersebut berada pada rentang optimal dari sel volta (Setyawan dkk., 2021). Selain itu, turbiditas rendah yang rendah dari air *reject* (sekitar 0,18 NTU) dapat pula memberikan efek positif tetapi perlu ada pembuktian lebih lanjut.



**Gambar 7.** Hubungan tegangan (voltase) sel galvani dengan menggunakan elektrolit air *reject* SWRO dan air laut

### 3.3 Kualitas Garam dari Air *Reject* SWRO

Air *reject* SWRO memiliki salinitas yang tinggi dan kandungan pengotor yang rendah (dapat dilihat dari nilai turbiditas). Oleh karena itu, air *reject* SWRO memiliki

potensi untuk dimanfaatkan untuk memproduksi garam. Untuk itu, percobaan pembuatan garam dilakukan dengan teknik geomembran. Geomembran merupakan lapisan kedap yang dapat memisahkan air laut dan tanah secara efektif. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan garam jauh lebih cepat dibanding dengan menggunakan air laut sekitar setengah kalinya. Hal ini dapat dipahami karena jumlah air yang harus diuapkan di air *reject* SWRO sudah berkurang 50% dibandingkan dalam air laut awalnya.

Garam yang diproduksi dites dan karakteristiknya dibandingkan dengan SNI (lihat Tabel 1). Hasil menunjukkan bahwa garam SWRO memiliki kadar air sekitar 5%, kadar NaCl hingga 99% dan memiliki cemaran logam yang sangat rendah. Oleh karena itu, berdasar karakteristik tersebut sudah memenuhi standar minimum SNI. Bahkan untuk NaCl, kadarnya jauh melebihi kadar minimum SNI yaitu 94%. Kadar yang tinggi dari NaCl didapatkan karena turbiditas/pengotor yang sangat rendah dari air *reject* SWRO (sekitar 0,18 NTU dibanding air laut sekitar 10 NTU). Dengan adanya pengotor yang rendah, bagian tidak larut akan kecil. Dari semua parameter SNI, kadar iodium (dalam bentuk  $KIO_3$ ) masih terlalu rendah (2,92 ppm, SNI: 30 ppm). Jika digunakan sebagai garam konsumsi tentunya kadar iodium perlu ditingkatkan, misalnya dengan penambahan/pencampuran  $KIO_3$ .

**Tabel 1.** Hasil Uji Garam yang Dibuat dari Air *Reject* SWRO

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Syarat Mutu*
1.	Air	%	5,33	Maks 7
2.	NaCl	% (bk)	99,0	Min 94
3.	Bagian tidak larut	% (bk)	0	Maks 0,5
4.	$KIO_3$	mg/kg (bk)	2,92	Min 30
5.	Timbal (Pb)	mg/kg	<0,040	Maks 10
6.	Kadmium (Cd)	mg/kg	<0,005	Maks 0,5
7.	Raksa (Hg)	mg/kg	<0,005	Maks 0,1
8.	Arsen (As)	mg/kg	<0,003	Maks 0,1

\*sesuai SNI 3556:2016

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini mempelajari karakteristik air *reject* SWRO. Hasil analisis data selama 5 tahun operasi SWRO menunjukkan karakteristik air SWRO terjaga kualitasnya. Turbiditas dan konduktivitas berada pada nilai  $0,18 \pm 0,08$  NTU dan  $76.000 \mu S/cm$ . Selain itu, untuk pH dan salinitas memiliki nilai  $7,8 \pm 1,0$  dan  $4,6 \pm 0,3\%$ . Hasil studi pemanfaatan sebagai elektrolit lampu air garam menunjukkan bahwa air *reject* SWRO mampu menghasilkan tegangan sekitar 1,4 Volt yang lebih tinggi 20% dibanding penggunaan elektrolit air laut. Hal ini didukung karena konsentrasi elektrolit (salinitas) dan konduktivitas yang sesuai. Selain itu, studi pemanfaatan sebagai bahan baku air garam menunjukkan kualitas garam yang baik dengan kadar NaCl 99% dan kadar lain yang

memenuhi SNI 3556:2016, kecuali kadar  $\text{KIO}_3$  (2,92 mg/kg).

### Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Cirebon Electric Power yang telah membiayai studi yang dilakukan.

### Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional, 2016, SNI 3556:2016: Garam konsumsi beriodium

Chandler, J.H., Culmer, P.R., Jayne, D.G. and Neville, A., 2015, Assessment of electrochemical properties of a biogalvanic system for tissue characterisation, *Bioelectrochemistry*, Elsevier B.V., 101, 138–145.

Cirebon Electric Power, P.C.E., 2021, Powering the Life of Indonesia, available at: <https://www.cirebonpower.co.id/cirebon-power/> (accessed 27 June 2021).

Cohen, Y., Semiat, R. and Rahardianto, A., 2017, A perspective on reverse osmosis water desalination: Quest for sustainability, *AIChE J.*, 63 (6), 1771–1784.

Fuller, T.F. and Harb, J.N., 2018, *Electrochemical*

*Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. Kumar, N., Bharadwaj, V., Mitra, S. and Bose, D., 2017, RO Reject Water Management Techniques, *World News Nat. Sci.*, 14, 1–10.

Leparc, J., Rapenne, S., Courties, C., Lebaron, P., Croué, J.P., Jacquemet, V. and Turner, G., 2007, Water quality and performance evaluation at seawater reverse osmosis plants through the use of advanced analytical tools, *Desalination*, 203 (1–3), 243–255.

Oxtoby, D.W., Gillis, H.P. and Champion, A., 2008, *Principles of Modern Chemistry*, edited by 6th, Thomson Learning, Inc., California, US.

PT. Duta Nichirindo Pratama., 2016, Lentera Air Garam, available at: [http://saltwaterlamp.blogspot.com/2016/02/lentera-air-garam-pertama-di-indonesia\\_23.html](http://saltwaterlamp.blogspot.com/2016/02/lentera-air-garam-pertama-di-indonesia_23.html) (accessed 29 June 2021).

Setyawan, S., Putra, I.S.R., Putra, A.D., Nugroho, S., Pramudikto, D.A. and Ariyanto, T., 2021, Pemanfaatan Air Reject Reverse Osmosis PT Cirebon Electric Power untuk Elektrolit Lampu Air Garam Nelayan, *Konversi*, 10 (2), 29–34.