

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Luasan Air Laut**

Sebagai negara kepulauan, Indonesia telah diakui dunia secara internasional (UNCLOS 1982) yang kemudian diratifikasi oleh Indonesia dengan Undang-Undang No.17 Tahun 1985. Berdasarkan UNCLOS 1982, total luas wilayah laut Indonesia seluas 5.9 juta km<sup>2</sup>, terdiri atas 3.2 juta km<sup>2</sup> perairan teritorial dan 2.7 km<sup>2</sup> perairan Zona Ekonomi Eksklusif, luas tersebut belum termasuk landas kontinen. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar didunia. Namun demikian, pembangunan bidang kelautan dan perikanan hingga saat ini masih jauh dari harapan. Padahal wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dan lautan kepulauan Indonesia disimpan potensi sumber daya alam dan jasa lingkungan yang sangat besar dan belum dimanfaatkan secara optimal, terutama dalam pembangkitan energi listrik (Lasabuda, 2013). Berdasarkan perhitungan bersama dari Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) potensi kelistrikan perairan indonesia mencapai 727000 MW (Samskerta dkk., 2012).

## 2.2 Luasan Muara Air Sungai

Indonesia merupakan negeri yang kaya akan potensi sumber daya alamnya, termasuk sumber daya air. Setiap sungai memiliki muara sungai dimana pada muara sungai terdapat campuran air laut dengan air sungai (Riyanto, 2004).

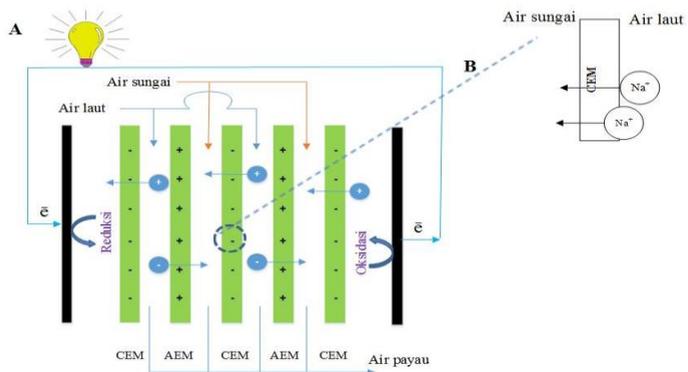
Menurut Anonimous (2013), di Indonesia terdapat 3.137 sungai (rata-rata memiliki minimal 2 muara sungai) di wilayah Indonesia yang berpotensi memiliki muara yang dapat dikembangkan menjadi pembangkit listrik dengan perbedaan salinitas.

## 2.3 Reverse Electrodialysis

*Reverse electrodialysis* adalah suatu membran yang digunakan untuk memproduksi listrik dari suatu kontrol pencampuran larutan elektrolit misalnya air laut dengan air sungai. Pada transportasi ion dari larutan elektrolit diencerkan untuk larutan elektrolit yang terkonsentrasi, yang memiliki fungsi untuk mencegah atau menghambat transportasi terhadap selaput gradien, *monovalent* selektif aktivitas dapat digunakan (Post, 2009).

*Reverse electrodialysis* (RED) adalah teknologi yang dapat menangkap energi ketika pencampuran air yang mempunyai salinitas berbeda. Pada **Gambar 2.1** dijelaskan bahwa prinsip *reverse electrodialysis* berdasar pada ion *exchange membrane* yang mempunyai selektif pada *cation exchange membrane*

(CEM) dan *anion exchange membrane* (AEM). Ketika air dengan salinitas berbeda berada pada sisi selektif ion *exchange membrane*, hal ini menyebabkan peristiwa *dannan potential* pada membran ketika membran berada diantara air laut dan air sungai *dannan potential* yang terbentuk akan terakumulasi menjadi voltase yang dapat digunakan untuk energi listrik (Guler, 2014). Teknologi ini juga memiliki keunggulan dibandingkan teknologi lainnya karena dapat menghasilkan energi yang dihasilkan lebih konstan dibandingkan dengan teknologi pembangkitan listrik lain, selain itu juga teknologi ini bisa terus dilakukan tanpa bergantung kepada cuaca dan ketersediaan bahan baku karena jumlahnya melimpah (Vermaas, 2014).



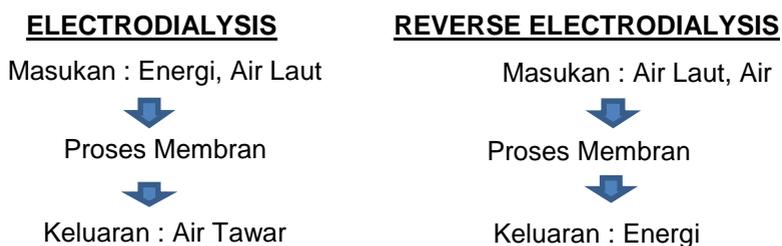
**Gambar 2.1** Proses Transportasi Ion-Ion dalam Proses *Reverse Electrodialysis* (Sumber: Guler, 2014).

Pada **Gambar 2.1** Terdapat proses transportasi ion-ion dalam proses *reverse electrodialysis*, dimana prinsip kerja dari

campuran air laut dan air sungai menjadi listrik dengan bantuan proses *reverse electrodialysis* yang terdiri dari *cation exchange membrane* (CEM) dan *anion exchange membran* (AEM), dikarenakan perbedaan muatan antar membran menyebabkan proses *reverse electrodialysis* ini dapat menarik ion  $\text{Cl}^-$  di dalam air laut yang sebagian besar memiliki kandungan senyawa  $\text{NaCl}$ , ion  $\text{Cl}^-$  ini akan tertarik ke *anode* sehingga mengalami reaksi oksidasi dan menghasilkan elektron  $e^-$ , sedangkan, ion  $\text{Na}^+$  akan tertarik ke *cathode* sehingga mengalami proses reduksi dan menangkap elektron  $e^-$ . Selain dengan menggunakan perbedaan muatan membran, proses ini juga menggunakan perbedaan salinitas garam dalam air laut, sehingga akan lebih efisien jika kadar garamnya tidak terlalu pekat, maka dari itu proses ini menggunakan campuran air laut dan air sungai agar ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dapat berpindah dengan bebas di dalam air. Proses ini kemudian menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi (Guler, 2014)

Menurut Gilstrap (2013) menyatakan bahwa proses RED memiliki perbedaan dengan proses *electrodialysis* (ED), dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Proses ED di industri digunakan untuk proses desalinasi air laut, demineralisasi, dan pengambilan larutan asam. Pada proses desalinasi dengan ED, voltase diterapkan ke seberang modul selaput yang memimpin untuk memandu suatu larutan berkadar garam diantara dua masukan

larutan berkonsentrasi tinggi dan pelarutnya. Pengangkutan ion dimungkinkan oleh perbedaan voltase dalam modul ED, pengangkutan garam melalui suatu rangkaian suatu membran yang berbeda muatan dapat memudahkan produksi air desalinasi. Sedangkan, dalam RED, *gradient* garam dibentuk untuk mengontrol percampuran larutan garam dan pelarutnya membentuk daya listrik yang didapatkan dari proses balik.



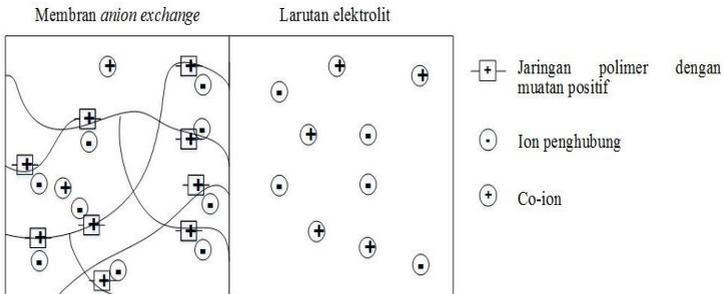
**Gambar 2.2** Perbedaan ED dengan RED

(Sumber: Gilstrap, 2013).

## 2.4 Exchange Membrane

Pada **Gambar 2.3** dijelaskan bahwa suatu membran adalah pembatas selektif yang memisahkan kontak antara dua fase yang berbeda dan memungkinkan pertukaran materi antara dua fase. Ketika pembatas membawa ion yang lebih spesifik disebut ion *exchange membrane*. Ada dua jenis *cation exchange membrane* yaitu ion *exchange membrane* yang membawa ion positif pada matrik polimer dan *anion exchange membrane* yang membawa ion positif pada polimer matrik. Pada *cation exchange membrane* transport dari *cation* memungkinkan *anion*

tertahan dimana ion positif membentuk dari polimer matriks pada *anion exchange membrane* semua *cation* yang menyusun adalah ion positif pada polimer matriks. *Anion exchange membrane* mempunyai kapasitas untuk membawa *anion* hanya ketika *cation* tertahan (Guler, 2014).



**Gambar 2.3** Prinsip Kerja *Anion Exchange Membrane* (AEM)  
(Sumber: Guler, 2014).

## 2.5 Sel Galvani

Pada sel galvani terdapat elektrolit dan dua elektrode yaitu katode (kutub positif) dan anode (kutub negatif) (Sutresna, 2008). Alat untuk mendapat arus listrik dengan reaksi kimia disebut dengan sel Galvani atau sel Volta. Reaksi kimia yang dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik adalah reaksi redoks spontan. Sel galvani terdiri atas dua elektroda dan elektrolit. Elektroda dihubungkan oleh penghantar luar yang mengangkut elektron ke dalam sel atau ke luar sel. Elektron akan bermigrasi dari satu elektroda ke elektroda lainnya. Potensial sel yang dihasilkan oleh suatu elektroda dengan

elektroda hidrogen disebut potensial elektroda. Potensial sel ( $E_{sel}$ ) adalah selisih potensial antara *cathode* dan *anode* (Zahro dkk, 2011).

## **2.6 Membran RED *with Spacer***

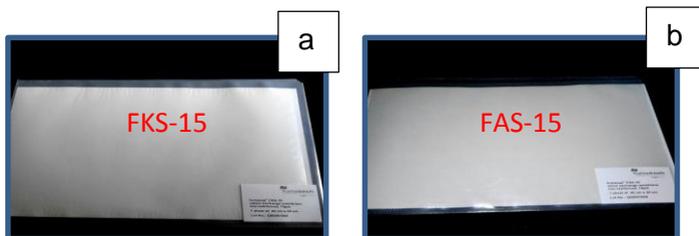
Spesial membran bermuatan yang bersifat homogen yang digunakan adalah FKS-15 untuk *cation exchange membrane* dan FAS-15 untuk *anion exchange membrane* (FUMASEP, Jerman) (Vermaas, 2011). Membran dan spacer yang digunakan Membran fumasep® FAS dan fumasep® FKS adalah membran homogen standar untuk bermuatan positif dan negatif yang digunakan dalam proses *electrodialysis* (ED) dan *reverse electrodialysis* (RED). Membran ini memiliki harga yang murah, ada yang menggunakan campuran penguat dan ada yang tidak menggunakannya. Namun, tipe membran ini optimal dalam ketebalan, konduktivitas, *permselectivity*, dan luas hambatan, jika dibandingkan dengan yang lainnya. Maka dari itu, pada penelitian ini membran yang digunakan adalah FKS-15 (**Gambar 2.4a**) untuk *cation exchange membrane* dan FAS-15 (**Gambar 2.4b**) untuk *anion exchange membrane* (FUMASEP, Jerman). Kedua membran tersebut dipilih karena memiliki keunggulan dari segi harga dan perpindahan elektron. Luas dari membran FKS-15 yang digunakan untuk masing-masing adalah  $15 \times 16 \text{ cm}^2$ , hal tersebut dilakukan karena keterbatasan luasan membran yang tersedia. Pada penelitian ini menggunakan dua

buah membran FKS-15. Sedangkan, untuk FAS-15 digunakan luas sebesar 16x16 cm<sup>2</sup>. Pada penelitian ini digunakan satu buah membran FAS-15. **Tabel 2.1** Menunjukkan sifat-sifat dari membran FKS-15 dan FAS-15 (membran homogen standar tanpa penguat).

**Tabel 2.1** Sifat-Sifat Membran Homogen Standar (Fumatech, 2017)

Membran	Tipe	Penguat	Ketebalan	Kapasitas	Selektivitas	Luas	Kestabilan
				as		Hambatan	
				Penukaran Ion		Spesifik	
			μm	mmol/g	%	Ωcm <sup>2</sup>	pH
FAS-15	anion	Tanpa	15-20	1.6-2.0	92-96	0.25-0.35	1-14
FKS-15	Catio	Tanpa	15-20	1.2-1.4	97-99	0.6-0.8	1-14

n



**Gambar 2.4** Membran Standar Homogen. a) Membran FKS-15 dan b) Membran FAS-15

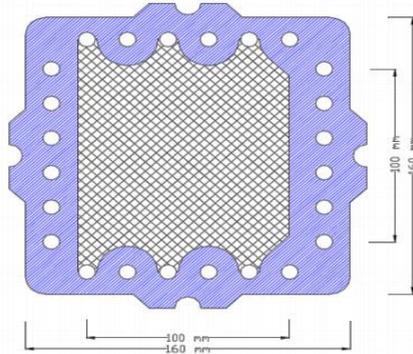
Sumber: (Fumatech, 2017).

Kemudian pada *spacer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spacer* ED-100. *Spacer* dibuat tipis untuk mengontrol volume yang diizinkan masuk ke dalam aliran larutan umpan ke dalam modul membran RED. Hal tersebut dilakukan untuk

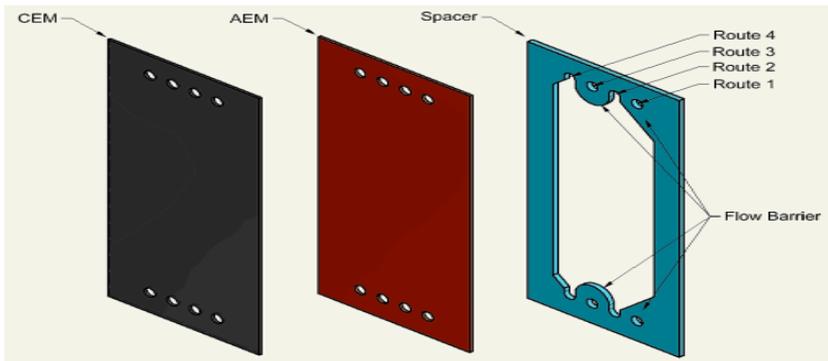
mengontrol pencampuran antara larutan berkonsentrasi tinggi dengan pelarutnya (Gilstrap, 2013). Bagian arus beda telah dirancang di bagian atas dan bawah dari tiap *spacer*. Ketika beberapa *spacer* pada suatu pengulangan, pertunjukan yang dibalikkan, mengalirkan arus yang telah dibentuk untuk dua larutan yang terpisah di dalam susunan membran. Penghalang arus mengalihkan masing-masing umpan yang telah terkontrol volumenya untuk membentuk gradien konsentrasi pada masing-masing membran (Gilstrap, 2013).

*Spacer* dibuat tipis untuk mengontrol volume yang diizinkan masuk ke dalam aliran larutan umpan ke dalam modul membran RED (Gilstrap, 2013). *Spacer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spacer* ED 100 dengan ukuran 16x16 cm<sup>2</sup> (**Gambar 2.5**). *Spacer* ED-100 memiliki enam rute aliran yang dapat digunakan dalam proses ED maupun RED. Enam aliran rute tersebut berfungsi untuk mengalir umpan dari kedua larutan umpan, yaitu larutan jenuh dan larutan tak jenuh. Pada *spacer* ED-100 terdapat pembagian rute aliran yang berfungsi untuk membagi larutan umpan, pembagian tersebut adalah tiga rute aliran untuk larutan jenuh dan tiga aliran lainnya untuk larutan tak jenuh. *Spacer* dibuat tipis dengan bahan dasar *polyvinyl chloride* untuk mengontrol volum masukan dalam RED. Bahan *polyvinyl chloride* dipilih karena merupakan bahan yang tahan terhadap larutan garam dan air sehingga *spacer* tidak mudah

mengalami kerusakan ketika digunakan dalam proses ED maupun RED.



**Gambar 2.5** *Spacer* ED-100. (Sumber: Fumatech, 2017).



**Gambar 2.6** Membran dan *spacer*

(Sumber: Gilstrap, 2013).

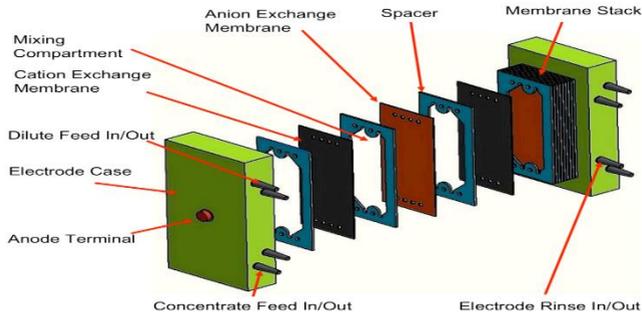
Pada **Gambar 2.6** membran dan *spacer* dimana membran FKB *cation exchange membrane* dan FAB *anion exchange membrane*. Pada awalnya di Fumasep Jerman suatu membran dan *spacer* tersebut dilengkapi dengan tumpukan membran

dan kemudian dilakukan eksperimen bahwa suatu modul ditingkatkan dengan ASV dan CSO monovalent selektif yang digunakan untuk pertukaran ion membran. Area yang efektif untuk modul membran yaitu  $36 \text{ cm}^2$ , setiap membran memiliki ukuran  $756 \text{ cm}^2$ , dimana ketebalan *spacer* sendiri yaitu  $500 \mu\text{m}$ , yang ditempatkan diantara *alternative exchange membrane* untuk membentuk suatu aliran yang kompak. Suatu *spacer* dibuat tipis untuk mengontrol volume aliran dari campuran salinitas air dan air yang sudah tercampur, perbedaan aliran tersebut dirancang pada bagian bawah dan atas dari setiap *spacer* (Gilstrap, 2013).

## **2.7 Prinsip Kerja Membran RED with Spacer**

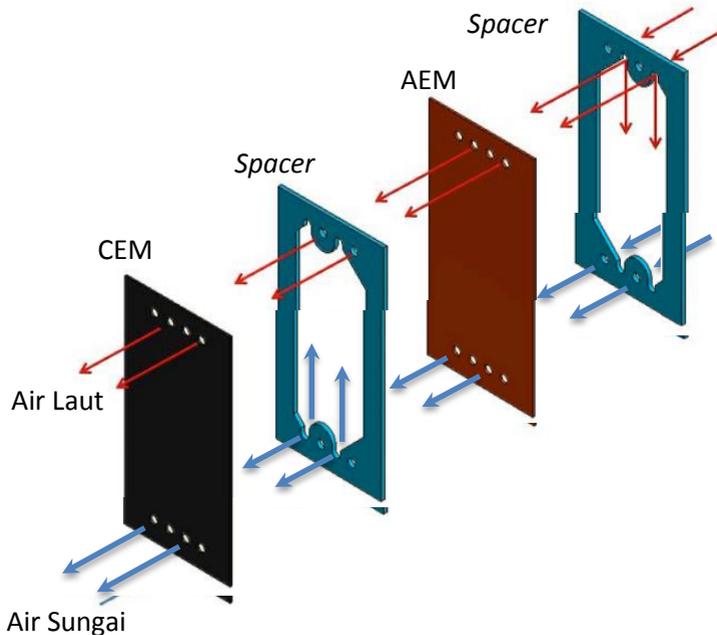
Pada **Gambar 2.7** Menurut Gilstrap (2013) menyatakan bahwa modul, susunan membran, terdiri dari pengulangan sel pada AEM dan CEM yang dipisahkan oleh *spacer* untuk menjaga kestrabilan dari mekanisme pencampuran. Pengulangan susunan membran ini berbentuk seperti roti isi yang di dalamnya terdapat elektroda pada bagian terluar dimana masing-masing elektroda berfungsi untuk mengkonversi energi kimia yang terjadi dalam modul RED menjadi energi listrik. Dalam sistem pembangkitan energi dengan menggunakan RED, konsentrasi tinggi dari air laut dan konsentrasi rendah dari air sungai diumpankan ke dalam modul dimana *spacer* akan memisahkan *gradient* dari kadar garam

untuk masing-masing membran. Ketika larutan garam berkonsentrasi tinggi diumpankan dengan kelajuan tertentu ke dalam salah satu sel modul RED, maka air tawar juga diumpankan pada bagian yang lainnya dalam modul, voltase dibangkitkan melalui masing-masing membran bermuatan.



**Gambar 2.7** Skematik Modul Membran RED

(Sumber : Gilstrap, 2013).



**Gambar 2.8** Model Aliran Modul Membran RED FT-ED 40

(Sumber : Gilstrap, 2013).

Pada **Gambar 2.8** Model aliran membran RED FT-ED 40 Menurut Gilstrap (2013) menyatakan bahwa maksimal laju aliran yang dapat diumpankan ke dalam modul RED adalah 70 L/jam. Sedangkan, menurut Vermaas (2011) menyatakan bahwa kelajuan yang dapat digunakan berkisar antara 0.017 sampai 4.17  $\text{cm}^3/\text{s}$ . Skema dari model laju aliran terbaik menurut Gilstrap (2013) adalah dengan menggunakan sistem *counter-current flow* pada sel RED tunggal.

## 2.8 Elektroda Karbon

Elektroda merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi atau reduksi, yang menunjukkan respon terhadap analit yang di analisa. Elektroda pembanding merupakan elektroda setengah sel yang nilai potensialnya telah diketahui. Potensial yang diaplikasikan pada sel merupakan beda potensial antara elektroda kerja dengan elektroda pembanding. Pada sistem dua elektroda, elektron akan mengalir lewat elektroda pembanding. Sehingga pada sistem ini sulit digunakan untuk mempertahankan potensial konstan dalam elektroda, akibat elektroda pembanding mempunyai kemungkinan ikut bereaksi (mengalami perubahan). Kekurangan ini diperbaiki pada sistem tiga elektroda, dengan memberikan impedansi yang besar pada elektroda pembanding, elektron disuplai dari elektroda ketiga yaitu elektroda bantu/kounter. Walaupun sistem tiga elektroda ini lebih stabil, namun sistem dua elektroda masih banyak digunakan karena lebih sederhana (Huda dkk, 2010).

Karbon aktif memiliki setruktur kimia yang terdiri dari atom karbon, karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi misalknya karboksil, fenol, dan ester. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu gugus fungsi pada karbon aktif juga terbentuk selama proses aktivasi oleh karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer, dimana gugus fungsi ini menjadikan

permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya (Shofa, 2012).

Pada penggunaan grafit (karbon) sebagai elektroda memiliki kelebihan yaitu harganya murah, namun memiliki kelemahan yaitu pada permukaan grafit yang terlalu luas maka pengumpulan arus listrik menjadi bermasalah. Permasalahan pada elektroda grafit tersebut dapat ditanggulangi dengan menggunakan kombinasi antara elektroda grafit dengan reaksi redoks yang homogen seperti  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  yang memiliki peluang yang cukup bagus (Veerman et.al., 2010). Menurut Vermaas (2011) menyatakan bahwa terminal elektroda berfungsi untuk memanen energi listrik dari modul membran RED. Sehingga, pada terminal elektroda ini diberi penutup yang dipasangkan dengan alat ukur (multimeter) untuk mengukur jumlah OCV yang dihasilkan oleh modul membran RED. Sebelum proses pembangkitan energi dilakukan, larutan pembilas elektroda disirkulasikan pada masing-masing komponen elektroda dengan tujuan untuk mengubah arus ionik dalam proses menjadi arus elektron. Larutan campuran 0.05 M  $\text{FeCl}_2$ , 0.05 M  $\text{FeCl}_3$ , dan 0.25 M NaCl paling cocok digunakan sebagai larutan pembilas elektroda karena mampu menghambat jumlah penurunan kemampuan elektroda dibandingkan hanya menggunakan larutan pembilas dari larutan NaCl, sehingga reaksi bersih dari elektroda adalah reaksi redoks dari pasangan ion  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  (Veerman et.al, 2010).

## 2.9 Elektrolite

Pada membran RED digunakan elektrolit  $\text{FeCl}_2$  ( $0.05 \text{ mol.l}^{-1}$ ), dan  $\text{FeCl}_3$  ( $0.5 \text{ mol.l}^{-1}$ ) dengan pH 2.4 yang berfungsi sebagai larutan basa untuk membilas suatu campuran air laut dan air sungai tersebut. Dimana memiliki kelemahan yaitu  $\text{O}_2$  yang mengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{H}^+$  yang menyebar melalui membran luar, sehingga menyebabkan peningkatan pH. Setelah digunakan pada jangka yang panjang elektroda pencuci tersebut berubah warna menjadi merah kecoklatan karena terdapat pembentukan besi (III) oxyhydroxides. Sehingga oksidasi dapat dikurangi dengan cara menggunakan kedap udara, dan pembentukkan larutan garam dapat dihindari dengan mengontrol Ph yang lebih rendah  $<2.3$  dengan cara menambahkan HCL, namun dengan penambahan HCL sebagai penyangga tersebut susah untuk pertukaran anion untuk  $\text{H}^+$ , sehingga diperlukan konstanta HCL, dengan itu pH pada limbah berkurang. Solusi penggunaan elektrodialisis eksternal sistem dengan membran bipolar yang menghasilkan NaOH dan HCL dapat diarahkan ke output stream dan HCL untuk elektrolit, dengan itu akan didapatkan pH netral yang tidak mencemari lingkungan (Veerman et.al., 2010).

## 2.10 Sistem Pengukuran RED

Multimeter digunakan untuk merekam data selama proses percobaan. Kelistrikan yang dihasilkan dari modul membran RED tergambar melalui terminal positif dan negatif, perekaman data pengukuran dilakukan melalui fungsi USB. Hal tersebut menyatakan bahwa metode yang sebelumnya hanya mampu untuk merekam voltase dan arus dalam fungsi waktu. Dalam literatur menyatakan bahwa penggunaan potentiostats yang mahal mampu memproduksi grafik voltase, kerapatan arus, dan kerapatan daya untuk menghasilkan suatu analisa yang menyeluruh pada percobaan (Gilstrap, 2013). Selain, multimeter untuk mengukur tegangan DC juga dapat digunakan *oscilloscope*. Osiloskop atau sering dikenal dengan CRO (*Cathode-Ray Oscilloscope* atau osiloskop sinar katoda) yang merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik beserta frekuensi dan fasenya, sekaligus menampilkan bentuk sinyal dari tegangan tersebut. Perbedaannya dengan multimeter bahwa multimeter dapat digunakan untuk mengukur tegangan, namun tidak dapat dipakai untuk mengamati bentuk dari sinyal tegangan, nilai tegangan yang diukur pada ultimeter yaitu nilai efektifnya, sedangkan pada osiloskop yaitu nilai puncak. Osiloskop merupakan pengeplot yang menampilkan bentuk sinyal terhadap waktu (Darmawan, 2012).

## 2.11 Energi Listrik

Energi adalah bagian utama untuk semua kegiatan makhluk hidup, termasuk manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya selalu memerlukan energi. Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja, oleh karena itu sifat dan bentuk energi dapat berbeda sesuai dengan fungsinya. Suatu konsep lain merupakan apa yang disebut daya, yang merupakan kecepatan energi itu per satuan waktu, atau dalam rumus :

$$P = \frac{E}{t}$$

Dimana E merupakan energi (joule, J), t satuan waktu (detik, s), dan P adalah daya (watt, W) (Hardiansyah, 2012).

Daya listrik mempresentasikan laju perubahan energi yang dihasilkan oleh sebuah perangkat listrik dari satu bentuk energi ke bentuk lainnya. Laju perubahan ini dinyatakan dalam satuan watt. Simbol untuk besaran watt adalah W. Daya yang di bangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, maka semakin besar daya yang dihasilkan (Bishop, 2004). Daya listrik menjadi panas kareana adanya gesekan-gesekan antara mutan dan bahan yang di aliri.sehingga komponen

elektronik yang dialiri arus akan menjadi panas. Suhu tergantung pada besarnya  $P$  yang di serap (Blocher, 2004).

Tegangan atau seringkali orang menyebut dengan beda potensial dalam bahasa Inggris *voltage* adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu *coulomb*) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan atau memindahkan muatan sebesar satu *coulomb* dari satu terminal ke terminal lainnya. Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan (Ramadhani, 2005).

Energi dapat ditangkap dari mencampur air asin dan air tawar di *reverse electrodialysis* menggunakan pertukaran ion membran, jumlah tukar (CEMs) dan (AEMs) bergantian yang dipisahkan oleh spacer untuk menyediakan aliran kompartemen. *Anion Exchang Membrane* (AEM) hanyalah selektif untuk kation (CEM) atau anion (AEM). Tegangan atas membran menyeimbangkan difusi selektif kation atau anion ketika tidak ada arus yang dihasilkan. Tegangan atas setiap membran terakumulasi ketika CEMs dan AEMs yang ditumpuk bergantian, dengan air asin dan air tawar yang disediakan dalam antara selaput. Tegangan ini dapat digunakan untuk daya perangkat elektrik, menggunakan elektroda dan misalnya

reaksi redoks untuk mengubah arus ionik menjadi arus listrik. Sebagai alternatif untuk reaksi redoks, elektroda kapasitif dapat digunakan (Vermaas, 2011).

## **2.12 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Energi Listrik**

Pengaruh kecepatan aliran terhadap energi listrik menurut (Vermaas, 2011) OCV (*Open Circuit Voltage*) rendah pada kecepatan aliran rendah dengan mengacu pada polarisasi konsentrasi. OCV (*Open Circuit Voltage*) ini memang dibatasi oleh perubahan konsentrasi disekitar membran, yang paling menonjol pada kecepatan aliran rendah. Pada kecepatan aliran tinggi, pencampuran lapisan batas ditingkatkan dan diukur OCV (*Open Circuit Voltage*) mendekati nilai teoritis. Ini berbeda dengan pencampuran pada tingkat aliran yang sangat rendah yaitu, bilangan Reynolds sangat rendah). Tumpukan dengan *spacer* memiliki OCV sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan *stack* dan profil membran, meskipun tidak signifikan pada semua bilangan Reynolds. Berdasarkan *permselectivity* dari membran individu OCV yang bisa diharapkan untuk menjadi yang sama untuk kedua tumpukan. Perbedaan kecil mungkin karena pencampuran yang lebih baik dalam *stack* dengan *spacer*.

Dalam penggunaan metode *reverse electrodialysis with spacer* dimana laju kecepatan aliran yang tinggi, menyebabkan tegangan OCV (*Open Circuit Voltage*) yang meningkat pula,

dengan waktu yang lama, dan semakin cepat laju aliran yang diumpankan maka hambatan listrik yang terjadi di dalam proses akan berkurang sehingga tegangan listrik (OCV) yang dihasilkan akan lebih banyak (Gilstrap, 2013).

Menurut (Verman et. al, 2009) Peningkatan laju aliran umpan kedua jenis larutan garam akan memaksimalkan perbedaan konsentrasi dengan cara memepercepat laju perpindahan ion menuju elektroda sehingga *power density* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat, dan laju alir umpan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap *power density* yang dihasilkan.

## 2.13 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.2** Penelitian Terdahulu

<b>N o.</b>	<b>Nama Peneliti</b>	<b>Judul Peneliti</b>	<b>Bahan</b>	<b>Metode</b>	<b>Pembeda</b>
1	(Vermaas, 2014).	<i>Energy generation from mixing salt water and fresh water</i>	Air laut sintesis (0.507 M NaCl), sungai sintesis (0.017 M NaCl), Elektroda Ti,	Menggunakan 5 cells AEM dan CEM menggunakan <i>spacer</i> dengan persentase air laut sintesis 0.507 M dan sungai	Menggunakan akan elektroda karbon, elektrolit FeCl <sub>3</sub> dan NaCl, menggunakan 1

---

<p>Elektrolit (0.05 M K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub>, M K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub>, 0.5 NaCl), Membran FKS dan FAS</p>	<p>sintesis 0.017 M, dengan elektroda Ti, dan elektrolit (0.05 M K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub>, 0.05 M K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub>, 0.5 NaCl), dan 0.5 NaCl), dengan menggunakan kecepatan aliran sebagai <i>input</i> 0.017 dan 4.17 cm<sup>3</sup>/s dan <i>output</i> yang dihasilkan adalah <i>voltage</i> <i>ohmic</i> <i>resistance</i>, R<sub>ohmic</sub>, <i>voltage</i> <i>non ohmic</i> <i>resistance</i>, transport ion, <i>gross power</i> <i>density</i>, efisiensi energi,</p>	<p><i>cells</i>, kecepatan aliran 8 cm<sup>3</sup>/s, 14 cm<sup>3</sup>/s, 19 cm<sup>3</sup>/s, dan diukur kecepatan aliran terhadap tegangan atau OCV, <i>resistance</i> dan <i>power</i> <i>density</i>.</p>
--	--	--

---

---

				tekanan drop, <i>net power density.</i>		
2	(Gilstrap, 2013).	<i>Rewnab le electricity generation from salinity gradient s using reverse electrodi alysis</i>	Modul membran FT-ED Air laut sintesis (0.507 M NaCl), sungai sintesis (0.017 M NaCl), CENs, AEMs, spacer, elektrolit 0.05 M FeCl <sub>2</sub> dan 0.05 M FeCl <sub>3</sub> dan 0.25 NaCl elektroda iron	40, laut M air 11 CENs, 10 AEMs, 22 spacer, elektrolit 0.05 M FeCl <sub>2</sub> dan 0.05 M FeCl <sub>3</sub> dan 0.25 NaCl elektroda iron, dan dengan kecepatan aliran 30 L/hr, 50 L/hr, dan 70 L/hr, sehingga	Menggunakan membran FT-ED 40 dengan penumpukan cells 11 CENs, 22 AEMs, dan spacer, persentase air sungai sintesis (0.017 M NaCl), 11 CENs, 10 AEMs, 22 spacer, elektrolit 0.05 M FeCl <sub>2</sub> dan 0.05 M FeCl <sub>3</sub> dan 0.25 NaCl elektroda iron, dan dengan kecepatan aliran 30 L/hr, 50 L/hr, dan 70 L/hr, sehingga	Menggunakan akan elektroda karbon, menggunakan 1 cells, menggunakan membran FKS-15 dan FKD-15.

---

---

didapatkan  
hasil output  
OCV,  
*resistance*,  
*power density*.

---

Dari **Tabel 2.2** Penelitian terdahulu, dimana dari penelitian sebelumnya, pada hasil penelitian (Vermaas, 2014) yakni menggunakan bahan air laut sintesis (0.507 M NaCl), air sungai sintesis (0.017 M NaCl), Elektroda Ti, elektrolit (0.05 M  $K_3Fe(CN)_6$ , 0.05 M  $K_3Fe(CN)_6$ , 0.5 NaCl), membran FKS dan FAS. Dengan metode menggunakan 5 cells AEM dan CEM dan menggunakan *spacer* dengan persentase air laut sintesis 0.507 M dan air sungai sintesis 0.017 M, dengan elektroda Ti, dan elektrolit (0.05 M  $K_3Fe(CN)_6$ , 0.05 M  $K_3Fe(CN)_6$ , 0.5 NaCl), dengan menggunakan kecepatan aliran sebagai *input* 0.017 dan 4.17  $cm^3/s$  dan *output* yang dihasilkan adalah *voltage ohmic resistance*,  $R_{ohmic}$ , *voltage non ohmic resistance*, transport ion, *gross power density*, efisiensi energi, tekanan drop, *net power density*. Kemudian pada penelitian (Gilstrap, 2013) yakni menggunakan bahan Modul membran FT-ED 40, Air laut sintesis (0.507 M NaCl), air sungai sintesis (0.017 M NaCl), 11 CENs, 10 AEMs, 22 spacer, elektrolit 0.05 M  $FeCl_2$  dan 0.05 M  $FeCl_3$  dan 0.25 NaCl elektroda iron, dan metode yang digunakan yakni menggunakan membran FT-ED 40 dengan penumpukan cells 11 CENs, 10 AEMs, 22 *spacer*, dan persentase air sungai

sintesis (0.017 M NaCl), 11 CENs, 10 AEMs, 22 *spacer*, elektrolit 0.05 M FeCl<sub>2</sub> dan 0.05 M FeCl<sub>3</sub> dan 0.25 NaCl elektroda iron, dan dengan kecepatan aliran 30 L/hr, 50 L/hr, dan 70 L/hr, sehingga didapatkan hasil output OCV, *resistance*, *power density*. Sehingga, dari kedua penelitian sebelumnya hal pembeda dari penelitian ini yaitu menggunakan elektroda karbon, elektrolit NaCl dan FeCl<sub>3</sub>, menggunakan 1 *cells*, menggunakan membran FKS-15 dan FKD-15, kecepatan aliran yang digunakan 8 cm<sup>3</sup>/s, 14 cm<sup>3</sup>/s, 19 cm<sup>3</sup>/s, dan diukur kecepatan aliran terhadap tegangan atau OCV, *resistance* dan *power density*.

