



## PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK BERBASIS PERBEDAAN SALINITAS DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *REVERSE ELECTRODIALYSIS*

Yoga Prasetya, Meindy Catur Risqiputra, Heru Susanto \*)  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

### Abstrak

Sejak terbentuknya Protokol Kyoto dan berdasarkan laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mengenai penangkapan dan penyimpanan gas karbon dioksida dalam rangka menekan laju perubahan iklim maka timbul suatu upaya yang berorientasi terhadap penanganan emisi gas CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Meskipun saat ini Indonesia belum diwajibkan untuk mengurangi emisinya tetapi kebijakan ini akan berpengaruh besar terhadap Indonesia terutama dalam sektor energi. Sampai saat ini, minyak bumi masih merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Peranan minyak bumi yang sangat besar tersebut akan terus berlanjut, sedangkan cadangan minyak bumi semakin menipis. Menyadari akan ketergantungan terhadap minyak bumi, maka perlu dilakukan suatu upaya untuk menekan pertumbuhan penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Dewasa ini, telah dikembangkan suatu energi alternatif yang dikenal sebagai Salinity Gradient Energy (SGE). Salinity Gradient Energy memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan sebagai energi alternatif khususnya di Indonesia yang merupakan negara perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi larutan NaCl pekat, laju alir larutan NaCl encer, umpan air sintesis dan air laut terhadap power density yang dihasilkan. Penelitian ini diawali dengan membuat larutan NaCl pekat dengan berbagai konsentrasi sebesar sebanyak 2 l dan membuat larutan NaCl encer dengan konsentrasi sebesar 1 g/l sebanyak 2 l. Dilanjutkan dengan menyalakan kedua pompa diafragma untuk mengalirkan kedua jenis larutan umpan ke dalam saluran yang terdapat di dalam rangkaian alat. Setelah alat beroperasi beberapa saat, perubahan tegangan output (mV) dan arus listrik (mA) dapat diukur menggunakan Multitester, pengukuran ini dilakukan setiap interval 20 detik. Kemudian mengulangi langkah – langkah yang sama untuk setiap variabel yang telah ditentukan. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada peningkatan laju alir umpan, maka power density yang dihasilkan semakin besar, karena peningkatan laju alir menyebabkan laju perpindahan ion ke elektroda semakin besar. Pada peningkatan konsentrasi NaCl pekat, power density yang dihasilkan semakin besar, karena peningkatan perbedaan konsentrasi menyebabkan peningkatan potensial kimia. Dan untuk sampel yang konsentrasinya hampir sama (30 g/l), power density yang dihasilkan dari air sintesis lebih besar dibandingkan air laut, karena nilai aktivasi elektrolit pada air sintesis lebih besar daripada air laut. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan laju alir dan konsentrasi, dapat meningkatkan power density yang dihasilkan.

**Kata kunci:** Reverse Electrodialysis; Larutan NaCl; AEM; CEM.

### Abstract

Since the formation of the Kyoto's Protocol and is based on reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) about the capture and storage of carbon dioxide gas in order to reduce the rate of climate change, there is a continual effort that oriented to the handling of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere, Although Indonesia has never been obligated to reduce its emissions, but this policy will have a big impact on Indonesia, especially in the energy sector. Until now, oil is still the main source of energy in fulfilling energy needs within the country. The role of a very large petroleum will continue, while the dwindling petroleum reserves. Recognizing the dependence on fossil fuels, there should be an effort to press the growth of the use of fuel oil. Nowadays, it has developed an alternative energy known as the Salinity Gradient Energy (SGE). Sanility Gradient Energy has great potential for use as an alternative energy especially in Indonesia, which is the state waters. This research is aimed for study the effect of the concentration of concentrated NaCl solution, dilute NaCl solution flow rate, feed of seawater synthesis and real sea water in generated of power density. This research started inmaking a concentrated NaCl solution with various concentrations of as much as 2 l and a dilute NaCl solution with a concentration of 1 g/l as much as 2 l. Continued with the second turning on the pump diaphragm for both types of feed solution flow into the channels contained in a series of tools. After a few moments appliance operates, the change of output voltage (V) and electric current (A) can be measured using a multimeter, this measurement conducted every 20 seconds interval. and then repeat the same steps for each of the variables that have been defined. From this research was found that increase in feed flow rate, then the resulting power density is greater, because of the increased flow rate causes the rate of movement of ions to the electrode increases. on increasing of the concentrated NaCl solution, the resulting power density is greater, because of the increased concentration difference causes an increase in the chemical potential. And for sample nearly the same concentration (30 g/l), the resulting power density of sea water is greater than the synthesis of real sea water, because the value of electrolytes activation synthesis of sea water is greater than the real sea water. It can be concluded that the increase in flow rate and concentration, can increase the generated of power density.

**Keywords :** Reverse Electrodialysis; NaCl Solution; AEM; CEM.

## 1. Pendahuluan

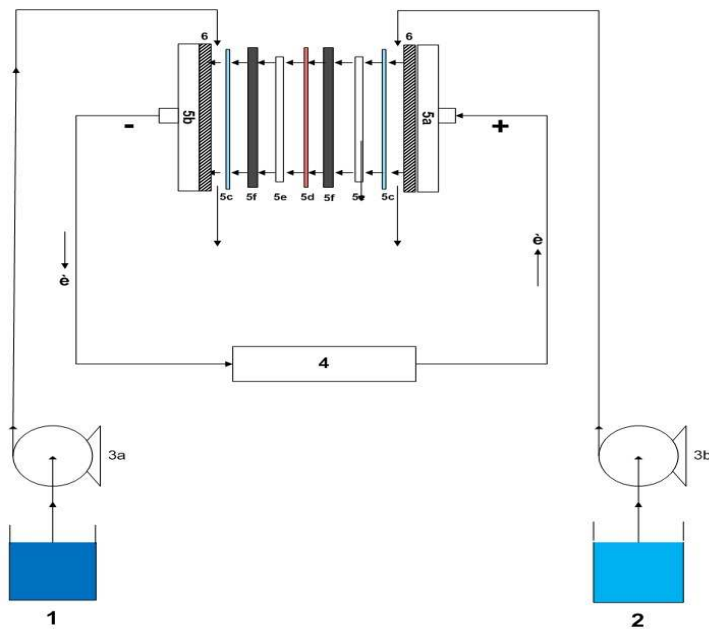
Bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara berkembang, penyediaan energi merupakan faktor yang sangat penting seiring dengan meningkatnya pembangunan terutama pembangunan di sektor industri, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Sampai saat ini, minyak bumi masih merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan energi dalam negeri (Gunawan, 2011). Peranan minyak bumi yang sangat besar tersebut akan terus berlanjut, sedangkan cadangan minyak bumi semakin menipis (Gunawan, 2011). Menyadari akan ketergantungan terhadap minyak bumi, maka perlu dilakukan suatu upaya untuk menekan pertumbuhan penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Menurut data Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Indonesia sudah mengembangkan beberapa sumber energi terbarukan, diantaranya biosolar, bioetanol, biooil, biogas hingga geothermal. Bahkan beberapa energi alternatif tersebut sudah mulai diaplikasikan sebagai bahan bakar transportasi maupun sebagai bahan bakar penggerak mesin diesel dalam industri.

Dewasa ini, telah dikembangkan suatu energi alternatif yang dikenal sebagai *Salinity Gradient Energy* (SGE). *Sanility Gradien Energy* memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan sebagai energi alternatif khususnya di Indonesia yang merupakan negara perairan. Meskipun potensi dari *Sanility Gradien Energy* sudah dikenal sejak tahun 1950 (Post, 2009), namun untuk skala komersial dan industri jumlahnya masih terbatas hingga saat ini. Prinsip dasar dari *Salinity Gradient Energy* adalah berdasarkan energi Gibbs bebas yang dihasilkan dari pencampuran dua jenis larutan dengan konsentrasi garam yang berbeda untuk menghasilkan energi listrik (contoh : pertemuan antara air muara dengan air laut) (Post, 2009). Beberapa kelebihan dari *Salinity Gradient Energy* ini adalah energi yang dihasilkan bersifat *nonpolluting* (tidak menghasilkan emisi gas CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, atau NO<sub>x</sub>), bersifat kontinyu untuk menghasilkan energi dengan mencampurkan aliran air yang memiliki perbedaan salinitas (Nijmeijer dan Metz, 2011). Karena sifatnya yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan serta berkelanjutan maka *Salinity Gradient Energy* dinilai cocok untuk menggantikan penggunaan energi konvensional berbasis fosil.

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk pengembangan pembangkit listrik berbasis perbedaan salinitas dari pertemuan air laut dan air sungai menggunakan teknologi *reverse electrodialysis*. Sedangkan secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju alir umpan terhadap *power density* yang dihasilkan, Mempelajari pengaruh konsentrasi umpan terhadap *power density* yang dihasilkan, Mempelajari pengaruh laju alir dengan menggunakan sampel air laut yang berasal dari “Pantai Bandengan Jepara” dan air keran terhadap *power density* yang dihasilkan.

**2. Material dan Metode Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah NaCl dan Akuades. Alat yang digunakan adalah Membran penukar anion (AEM), Membran penukar kation (CEM), Gasket, Elektroda, *Spacer*, Pompa diafragma, Tangki penampung larutan umpan, dan Multitester. Gambar 1 menunjukkan skema rangkaian alat RED untuk sistem dua sel.



- Keterangan Rangkaian Alat :**
1. Tangki penampung larutan NaCl pekat
  2. Tangki penampung larutan NaCl encer
  3. a. Pompa larutan NaCl pekat  
b. Pompa larutan NaCl encer
  4. Multitester
  5. a. Endplate  
b. Endplate  
c. Membran penukar kation (CEM)  
d. Membran penukar anion (AEM)  
e. *Spacer*  
f. Gasket
  6. Elektroda

Gambar 1. Rangkaian alat *reverse electrodialysis* dengan sistem satu sel.

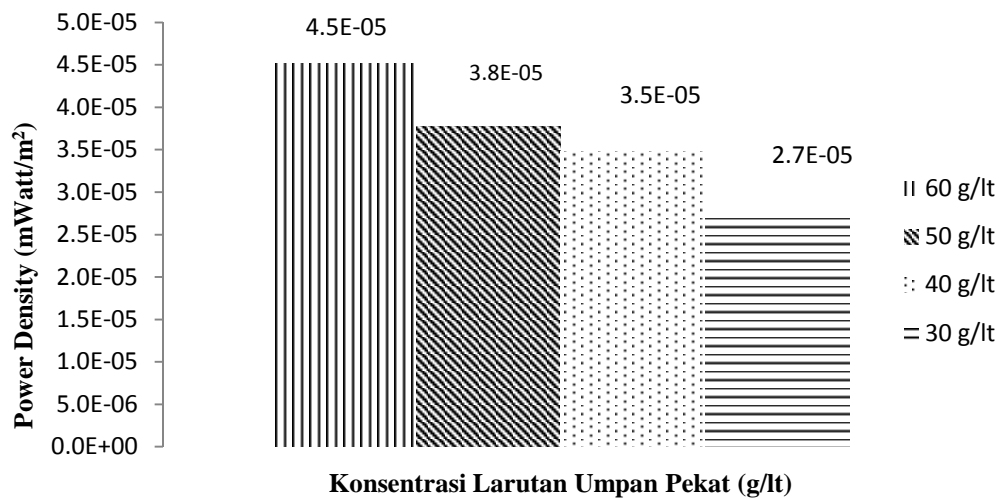
Penelitian dilakukan pada suhu kamar (30<sup>0</sup>C), tekanan operasi sebesar 1 atm, dan konsentrasi larutan NaCl encer 1 g/l. Penelitian diawali dengan membuat larutan NaCl pekat dengan berbagai konsentrasi (30; 40; 50; 60 g/l) sebanyak 2 L dan membuat larutan NaCl encer dengan konsentrasi sebesar 1 g/l sebanyak 2 L. Larutan garam dengan laju air (5,5; 7,5; 9,5; 11,5 ml/s) dialirkan ke dalam saluran yang terdapat di dalam rangkaian alat, catat perubahan tegangan *output* (mV) dan arus listrik (mA) setiap interval 20 detik dengan menggunakan multitester, kemudian ulangi langkah – langkah diatas untuk setiap variabel yang telah ditentukan.

Dengan menggunakan data kuat arus dan tegangan *output*, maka nilai *power density* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1:

$$Pd = \frac{E_{cell} \cdot I}{A} \dots\dots\dots (1)$$

### 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### 3.1 Pengaruh Konsentrasi Larutan Garam terhadap *Power Density*

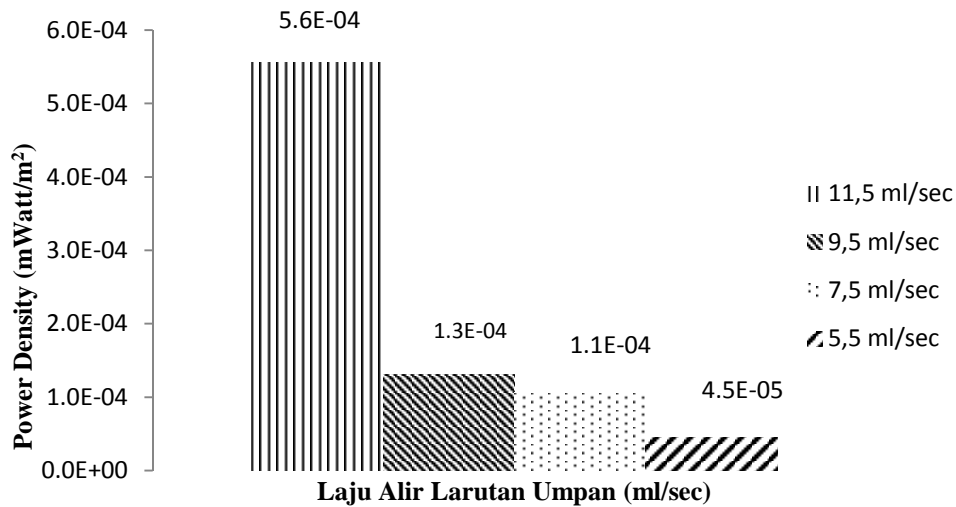


Gambar 2 Diagram batang hubungan antara konsentrasi larutan umpan pekat dengan *power density*. Laju alir kedua larutan garam konstan : 5,5 ml/detik. Konsentrasi larutan garam encer : 1 g/l, luas bidang kontak membran 0,0154 m<sup>2</sup>, selama 200 detik.

Gambar 2 menunjukkan hubungan pengaruh konsentrasi larutan garam terhadap *power density* yang dihasilkan. Fenomena yang terlihat pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada laju alir larutan yang konstan, semakin besar perbedaan antara konsentrasi larutan garam pekat dan encer yang digunakan maka densitas daya (*power density*) yang dihasilkan semakin meningkat (30 g/l : 1 g/l = 0,0000273 mW/m<sup>2</sup>; 40 g/l : 1 g/l = 0,0000347 mW/m<sup>2</sup>; 50 g/l : 1 g/l = 0,0000377 mW/m<sup>2</sup>; 60 g/l : 1 g/l = 0,0000451 mW/m<sup>2</sup>). Menurut Post (2009), peningkatan *power density* ini terjadi karena adanya peningkatan perbedaan potensial kimia yang disebabkan oleh semakin besarnya perbedaan konsentrasi larutan garam yang digunakan sebagai umpan. Perbedaan potensial kimia antara kedua jenis larutan garam menyebabkan terjadinya perpindahan ion yang berasal dari larutan garam pekat menuju larutan garam encer melalui membran penukar ion. Dengan meningkatnya perbedaan potensial kimia antara kedua jenis larutan garam, maka jumlah dari ion yang berpindah dari larutan garam pekat menuju larutan garam encer juga akan semakin meningkat. Hal ini mempengaruhi jumlah ion yang mengalami reaksi redoks yang kemudian akan dikonversi menjadi energi listrik.

Selain itu, Turek et al. (2007) juga menjelaskan bahwa besarnya perbandingan konsentrasi antara kedua jenis larutan garam merupakan salah satu faktor utama yang berpengaruh terhadap *power density* yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena besarnya perbandingan konsentrasi antara kedua jenis larutan garam mempengaruhi jumlah ion yang terekstrak di anoda.

### 3.2 Pengaruh Laju Alir Larutan Garam terhadap *Power Density*

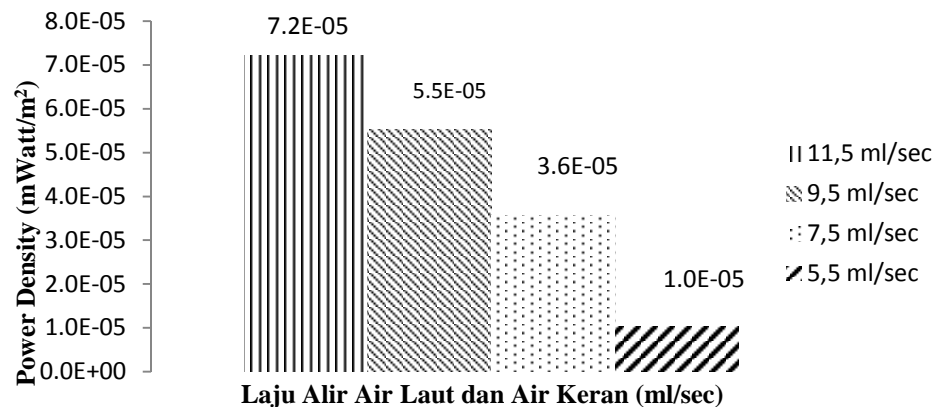


Gambar 3 Diagram batang hubungan antara laju alir larutan umpan dengan *power density*. Konsentrasi Larutan garam tetap 60 g/l dan Larutan garam encer 1 g/l, luas bidang kontak membran 0,0154 m<sup>2</sup>, selama 200 detik.

Gambar 3 menunjukkan hubungan pengaruh perubahan laju alir larutan garam terhadap *power density* yang dihasilkan. Fenomena yang terjadi pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi larutan garam yang konstan, semakin cepat laju alir larutan garam yang digunakan, maka *power density* yang dihasilkan semakin meningkat ( 5,5 ml/det = 0,0000451 mW/m<sup>2</sup>; 7,5 ml/det = 0,0001072 mW/m<sup>2</sup>; 9,5 ml/det = 0,0001308 mW/m<sup>2</sup>; 11,5 ml/det = 0,0005560 mW/m<sup>2</sup>). Menurut Verman et al. (2009), peningkatan laju alir umpan untuk kedua jenis larutan garam akan memaksimalkan perbedaan konsentrasi dengan cara mempercepat laju perpindahan ion menuju elektroda sehingga *power density* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Verman et al. (2009) juga menjelaskan bahwa laju alir umpan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap *power density* yang dihasilkan.

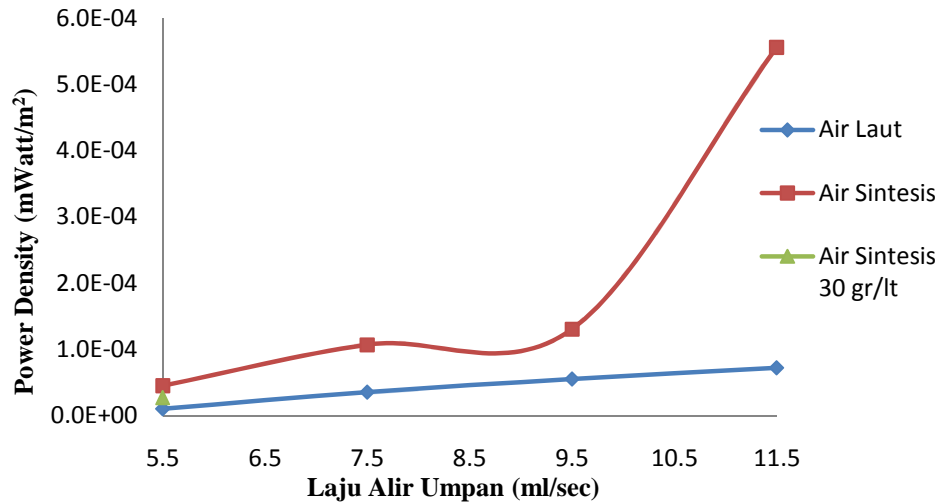
Hal serupa juga dikemukakan oleh Turek et al. (2007), dalam penelitian yang mereka lakukan menunjukkan hasil bahwa pada konsentrasi larutan garam yang konstan, peningkatan laju alir larutan garam memberikan pengaruh yang berbanding lurus terhadap nilai *power density* yang dihasilkan.

### 3.3 Pengaruh Laju Alir Air Laut dan Air Keran terhadap *Power Density*



Gambar 4 Diagram batang hubungan antara laju alir air laut dan air keran dengan *power density*, luas bidang kontak membran 0,0154 m<sup>2</sup>, selama 200 detik.

Gambar 4 menunjukkan hubungan pengaruh perubahan laju alir larutan umpan (air laut dan air keran) terhadap *power density* yang dihasilkan. Fenomena yang terjadi pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin cepat laju alir larutan umpan yang digunakan maka *power density* yang dihasilkan semakin meningkat ( 5,5 ml/det = 0,0000103 mW/m<sup>2</sup>; 7,5 ml/det = 0,0000356 mW/m<sup>2</sup>; 9,5 ml/det = 0,0000552 mW/m<sup>2</sup>; 11,5 ml/det = 0,0000722 mW/m<sup>2</sup>).



Gambar 5 Grafik perbandingan antara air laut dan larutan sintesis terhadap *power density* yang dihasilkan, dengan variasi laju alir umpan, luas bidang kontak membran 0,0154 m<sup>2</sup>, selama 200 detik.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan *power density* antara penelitian dengan menggunakan sampel larutan sintesis dan air laut pada perubahan laju alir umpan, dimana terdapat perbedaan nilai *power density* untuk kedua jenis sampel. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa secara garis besar, nilai *power density* yang dihasilkan pada penelitian dengan menggunakan air sintesis lebih besar dibandingkan dengan menggunakan sampel air laut. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan umpan yang digunakan. Air laut yang digunakan sebagai sampel memiliki konsentrasi garam sebesar ±30 g/l, sedangkan untuk larutan sistesis memiliki konsentrasi garam sebesar 60 g/l. Menurut Post (2009), besarnya perbedaan konsentrasi antara kedua jenis larutan garam berbanding lurus dengan *power density* yang dihasilkan.

Pada penelitian dengan menggunakan sampel yang konsentrasinya hampir sama, yaitu antara air laut dan air sintesis dengan konsentrasi garam 30 g/l, didapatkan nilai rata – rata *power density* yang dihasilkan air sintesis lebih besar dibandingkan air laut. Hal ini disebabkan karena nilai aktivitas elektrolit air sintesis lebih besar dari air laut. Nilai aktivitas elektrolit pada air sintesis sebesar 0,5 mol/l, sedangkan untuk air laut sebesar 0,343 mol/l (Nijmeijer dan Metz, 2011). Semakin tinggi aktivitas elektrolit dapat meningkatkan tegangan teoritis yang dihasilkan. Adapun hubungan nilai aktivitas elektrolit dengan tegangan teoritis dapat di lihat pada persamaan 2:

$$V_{teoritis} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_c}{a_d} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

1.  $V_{teoritis}$  = Tegangan teoritis (Volt)
2. R = tetapan koefisien gas (8,314 J/mol K)
3. T = Suhu operasi (298,15 K)





4.  $F$  = Bilangan Faraday (96.485 C/mol)
5.  $a_c$  = aktivitas elektrolit garam pekat (mol/l)
6.  $a_d$  = aktivitas elektrolit garam encer (mol/l)

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian diatas, didapat pengaruh perubahan laju alir larutan garam dengan *power density* yang dihasilkan. Secara garis besar, semakin besar laju alir larutan maka *power density* yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan untuk pengaruh perubahan konsentrasi larutan garam pekat dengan *power density* yang dihasilkan, semakin besar perbedaan konsentrasi larutan garam maka *power density* yang dihasilkan semakin besar. Dan pengaruh perubahan laju alir larutan garam, *power density* maksimal yang dihasilkan adalah 0,0000451 mW/m<sup>2</sup>, sedangkan perubahan konsentrasi larutan garam pekat, *power density* maksimal yang dihasilkan adalah 0,0005560 mW/m<sup>2</sup>. Untuk variabel menggunakan sampel berupa air laut dan air keran, *power density* maksimal yang dihasilkan adalah 0,0000722 mW/m<sup>2</sup>. Secara garis besar, *power density* yang dihasilkan untuk umpan air laut lebih besar dibandingkandengan air keran karena perbedaan konsentrasi garam. Serta untuk air sintesis yang konsentrasi garamnya hampir sama (30 g/l), *power density* yang dihasilkan lebih besar dari air laut. Dikarenakan aktivitas elektrolit pada air sintesis lebih besar dibandingkan denganair laut.

## 6. Daftar Pustaka

- Dlugolecki, P.E. 2010. *Mass transport in reverse electrodialysis for sustainable energy generation*. Thesis, University of Twente, The Netherlands. ISBN 978-90-365-2928-0.
- Gunawan, M.S. 2011. *Membuat Energi Alternatif dari Sampah Daun*. Lintang aksara: Jakarta.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000: *Emission Scenarios: Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherland. Kluwer Academic Publisher.
- Nijmeijer, K., Metz, S. 2011. *Salinity gradient energy*. Sustainability Science and Engineering, Volume 2 ISSN 1871-2711: 95-139.
- PT. PLN. *Statistik PLN 2007-2010*. Jakarta 2011.
- Post, J.W., Veerman, J., Hamelers, H.V.M., Euverink, G.J.W., Metz, S.J., Nijmeijer, K., Buisman, C.J.N. 2007. *Salinity-gradient power: evaluation of pressure-retarded osmosis and reverse electrodialysis*, J. Membr. Sci. 288: 218–230.
- Post, J.W. .2009. *Blue Energy: electricity production from salinity gradients by reverse electrodialysis*. Thesis, Wageningen University, Wageningen The Netherlands. ISBN 978-90-8585-510-1.
- Susandi, Armi. 2004: *The Impact of International Green House Gas Emmisions Reduction on Indonesia*. Report on System Science. Max Planck Institute for Meteorology. Hamburg, Jerman.
- Susandi, Irwani. 2005: *Indonesian Energy Development as Impact of Global Climate Policy*. Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- Turek, M., Bandura, B. 2007. *Renewable energy by reverse electrodialysis*, Desalination 205: 67–74.
- Turek, M., Bandura, B., Dydo, P. 2008. *Power production from coal-mine brine utilizing reverse electrodialysis*, Desalination 221: 462-466.
- Veerman, J., Saakes, M., Metz, S.J., Harmsen, G.J. 2009. *Reverse electrodialysis: performance of a stack with 50 cells on the mixing of sea and river water*. J. Membr. Sci. 327 : 136-144.
- Veerman, J., Jong de, R.M., Saakes, M., Metz, S.J., Harmsen, G.J. 2009. *Comparison of six commercial membrane pairs on the thermodynamic efficiency and power density*. Journal of Membrane Science 343 (2009) 7–15.