



ISSN: 1693-4393

SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2014

*Pengembangan Teknologi Kimia
untuk Pengolahan Sumber Daya
Alam Indonesia*

5 Maret 2014

PROSIDING

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**





Elektrolisis Air Suling dengan Satu Stack PEM-Elektrolyzer

Guta Adi K P, Verdyla Dwi N, Ramli Sitanggang, dan Yusuf Izidin

Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur Yogyakarta-55283

E-mail : gutaadikp@gmail.com ; verdyladwicahya@gmail.com

Abstract

One of energy carrier that being developed for fuel cell is Hydrogen. This gas can be produced in many ways, one of them is electrolysis. This research is done in order to find out optimum operating point for producing hydrogen based on current and time influence on the amount of produced hydrogen using PEM-Electrolyzer. Electrodes used are special mixed ruthenium-iridium on oxygen side and platinum on hydrogen side. Inside PEM-Electrolyzer, water separated into hydrogen and oxygen with particular current and time. Oxygen is produced at anode, while hydrogen ion moved to cathode to form hydrogen gas. Electro current and trial time influence greatly on the amount of hydrogen produced and its energy efficiency. From this research we conclude that the higher electro current and time used, more amount of hydrogen will be produced and optimum operating point is reached when the value of energy efficiency is close to faraday efficiency.

Keywords : Electrolysis, hydrogen, PEM-Electrolyzer

Pendahuluan

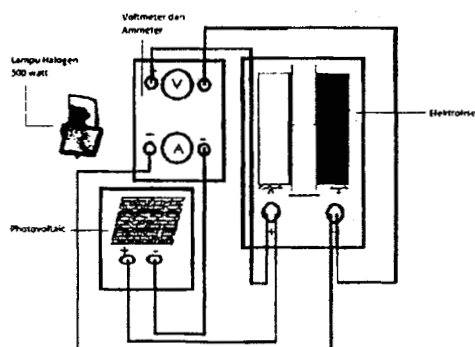
Hidrogen untuk sel bahan bakar (fuel cell) dapat diproduksi dengan menggunakan energy listrik surya dari photovoltaic (PV). Dalam penelitian ini, sumber listrik dari system PV dioptimalkan dengan cara mengubah tegangan dan daya maksimum photovoltaics untuk operasi proton exchange membrane (PEM) electrolyzer (Nelson A. Kelly et al,2011).

PEM-elektroliser menjadi alternatif untuk menghasilkan hidrogen sebagai sumber energi terbarukan. Isu-isu spesifik mengenai pengembangan PEM-electrolyzer dalam sistem energi terbarukan, seperti ukuran elektroliser, kondisi operasi intermiten, tekanan operasi, hasil oksigen, keperluan air dan efisiensi (Frano Barbir,2004). Dalam penelitian-penelitian, pengembangan efisiensi elektroliser dapat ditingkatkan dari 74% menjadi 87% (Ömer Faruk Selamat et al, 2011). Sedangkan dalam penelitian ini diperkirakan hasil dapat ditingkatkan lebih tinggi dari 87% untuk menghasilkan hidrogen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui titik operasi optimum pembuatan hidrogen dari elektrolisis air dengan berdasarkan variabel pengaruh arus listrik dan waktu terhadap hidrogen yang dihasilkan oleh elektroliser.

Metodologi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air suling (aquades). Aquades ini didapat dari salah satu toko bahan kimia yang ada di Terban, Sleman, Yogyakarta. Alat yang digunakan secara umum dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian





Penelitian dilakukan dengan menggunakan PEM-Electrolyzer. Suhu dijaga pada 20°C. Variabel yang digunakan adalah arus dan waktu. Arus listrik yang digunakan adalah 0.25; 0.35; 0.45; 0.55; 0.65; 0.75; 0.85 (A) sedangkan waktu elektrolisa adalah 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 (s).

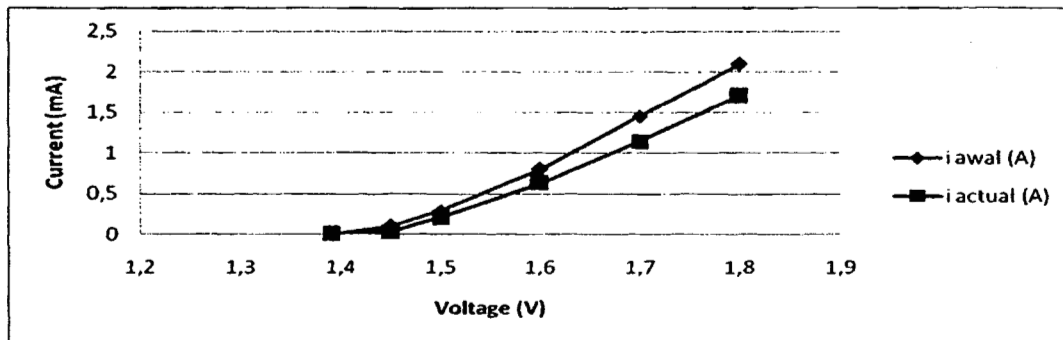
Arus dari photovoltaic diatur dengan variasi dari intensitas cahaya untuk mendapatkan arus yang berbeda. Arus kemudian dibuat konstan dan volume hidrogen diukur dengan waktu yang berbeda, 60 s sampai 480 s dengan interval waktu 60 s. Kemudian, digunakan waktu konstan dengan arus berubah-ubah, dari 0.25 A sampai 0.85 A dengan interval arus 0.1 A.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik PEM-Electrolyzer

Tabel 1.Karakteristik PEM-Electrolyzer

| Voltage (V) | i awal (A) | i actual (A) |
|-------------|------------|--------------|
| 1,39 | 0 | 0 |
| 1,45 | 0,1 | 0,03 |
| 1,5 | 0,29 | 0,2 |
| 1,6 | 0,8 | 0,63 |
| 1,7 | 1,45 | 1,14 |
| 1,8 | 2,1 | 1,706 |



Gambar 2.Karakteristik PEM-electrolyzer

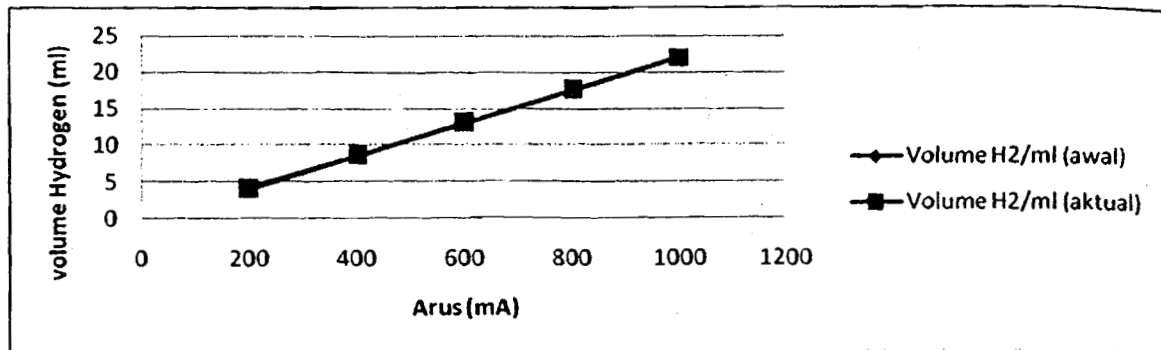
Dari tabel 1 dan gambar 2 dapat dilihat bahwa arus listrik berbanding lurus dengan voltase. Semakin besar arus, maka semakin besar pula voltasenya. Namun, seperti terlihat di gambar 2, ada sedikit perbedaan di antara i awal dan i actual (saat ini). Ini menunjukkan adanya penurunan performa dari photovoltaic.

Hubungan arus terhadap jumlah hidrogen yang dihasilkan

Tabel 2. Hubungan Arus Terhadap Volume Hidrogen Pada Waktu Tetap

| Time (s) | Current (mA) | Volume H ₂ /ml (awal) | Volume H ₂ /ml (aktual) |
|----------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 180 | 200 | 4.2 | 4 |
| 180 | 400 | 8.5 | 8.5 |
| 180 | 600 | 13 | 13 |
| 180 | 800 | 17.5 | 17.5 |
| 180 | 1000 | 22 | 22 |





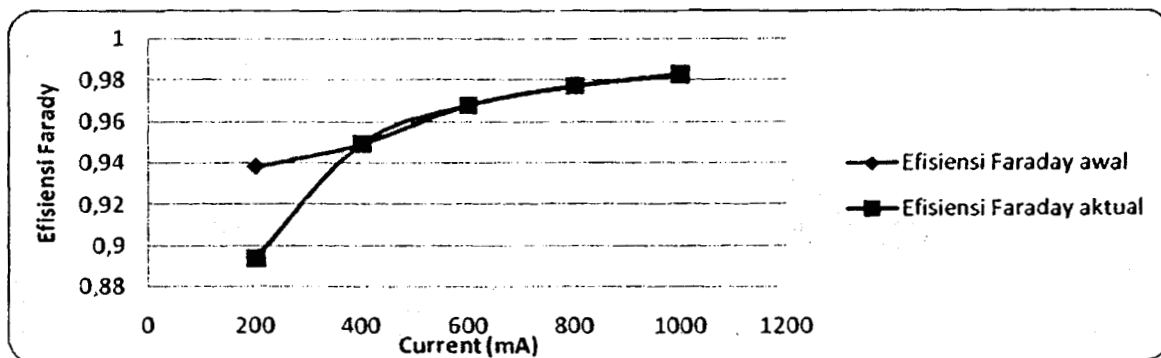
Gambar 3. Hubungan arus terhadap volume hidrogen

Dari table 2 dan gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin besar arus yang digunakan maka semakin banyak volume atau jumlah hydrogen yang dihasilkan. Hal ini karena semakin besar arus maka jumlah air yang terurai semakin banyak sehingga volume hydrogen yang dihasilkan menjadi semakin banyak. Dan dapat dilihat pada gambar 3 bahwa jumlah hidrogen yang dihasilkan antara awal dan saat ini nyaris sama, sehingga grafiknya bertumpuk.

Hubungan arus terhadap efisiensi faraday

Tabel 3. Hubungan Arus Terhadap Efisiensi Faraday Pada Waktu Tetap

| Time (s) | Current (mA) | Volume H ₂ /ml (awal) | Volume H ₂ /ml (aktual) | Volume H ₂ teoritis/ml | Efisiensi Faraday awal | Efisiensi Faraday aktual |
|----------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 180 | 200 | 4,2 | 4 | 4,477426309 | 0,9380389 | 0,8933704 |
| 180 | 400 | 8,5 | 8,5 | 8,954852618 | 0,949206 | 0,949206 |
| 180 | 600 | 13 | 13 | 13,43227893 | 0,9678179 | 0,9678179 |
| 180 | 800 | 17,5 | 17,5 | 17,90970524 | 0,9771238 | 0,9771238 |
| 180 | 1000 | 22 | 22 | 22,38713155 | 0,9827074 | 0,9827074 |



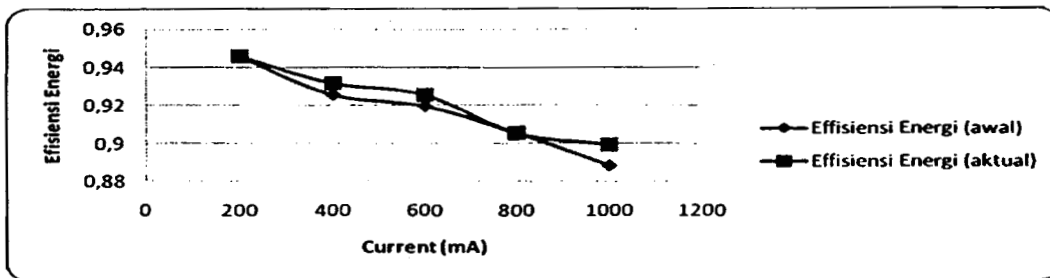
Gambar 4. Hubungan arus terhadap efisiensi faraday

Dari table 3 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa efisiensi faraday meningkat sejalan dengan kenaikan arus. Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai volume H₂ aktual selalu lebih rendah dari volume H₂ Teoritis. Hal ini menyebabkan nilai efisiensi faraday selalu dibawah 1. Sesuai dengan persamaan $\mu_{faraday} = \frac{\text{volume H}_2 \text{ aktual}}{\text{volume H}_2 \text{ teoritis}}$. Apabila nilai volume H₂ aktual lebih tinggi dari volume H₂ teoritis maka kemungkinan telah terjadi kesalahan dalam pengamatan.

Hubungan arus terhadap efisiensi energy

Tabel 4. Hubungan Arus Terhadap Efisiensi Energi

| Time (s) | Current (mA) | Volume H ₂ /ml (awal) | Volume H ₂ /ml (aktual) | Tegangan (V) awal | Tegangan (V) aktual | Effisiensi Energi (awal) | Effisiensi Energi (aktual) |
|----------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| 180 | 200 | 4,2 | 4 | 1,473 | 1,4 | 0,9460317 | 0,946032 |
| 180 | 400 | 8,5 | 8,5 | 1,52 | 1,51 | 0,9258041 | 0,931935 |
| 180 | 600 | 13 | 13 | 1,56 | 1,55 | 0,9197531 | 0,925687 |
| 180 | 800 | 17,5 | 17,5 | 1,6 | 1,6 | 0,9053819 | 0,905382 |
| 180 | 1000 | 22 | 22 | 1,63 | 1,62 | 0,8883469 | 0,899314 |



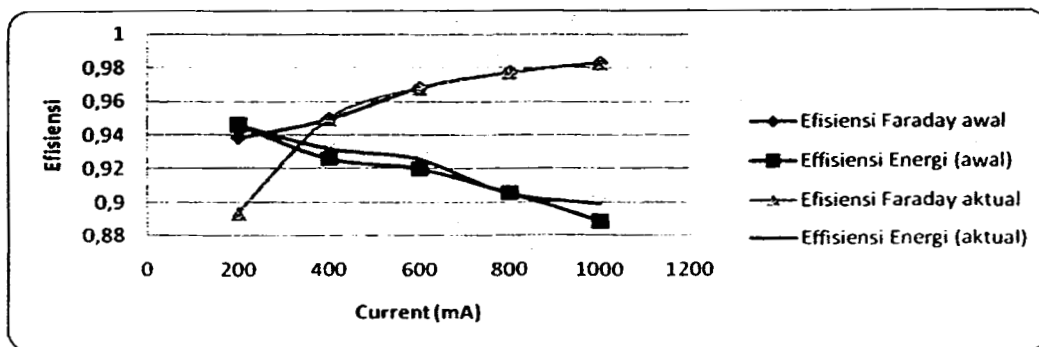
Gambar 5. Hubungan arus terhadap efisiensi energi

Dari tabel 4 dan gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi energi selalu menurun dengan kenaikan arus ataupun voltase. Perubahan arus dan voltase sangat mempengaruhi perubahan efisiensi energi. Hal ini sesuai persamaan yang telah disebutkan di landasan teori di mana arus dan voltase berbanding terbalik dengan efisiensi energi.

Titik operasi optimum pada arus berubah

Tabel 5. Hubungan Efisiensi Faraday dan Efisiensi Energi Pada Arus Berubah

| Time (s) | Current (mA) | Efisiensi Faraday awal | Efisiensi Faraday actual | Effisiensi Energi (awal) | Effisiensi Energi (aktual) |
|----------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 180 | 200 | 0.9380389 | 0.89337 | 0.946032 | 0.946032 |
| 180 | 400 | 0.949206 | 0.949206 | 0.925804 | 0.931935 |
| 180 | 600 | 0.9678179 | 0.967818 | 0.919753 | 0.925687 |
| 180 | 800 | 0.9771238 | 0.977124 | 0.905382 | 0.905382 |
| 180 | 1000 | 0.9827074 | 0.982707 | 0.888347 | 0.899314 |



Gambar 6. Hubungan efisiensi faraday dan efisiensi energi pada arus berubah

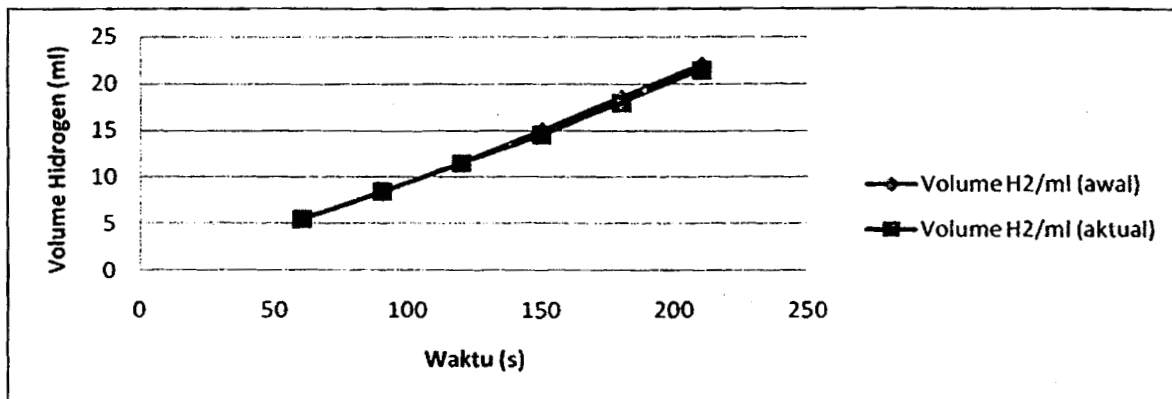


Dari tabel 5 dan gambar 6 dapat dilihat bahwa titik operasi optimum awal terjadi ketika arusnya 200 A. Pada saat 200 A, nilai efisiensi energi dan efisiensi faraday berdekatan sehingga titik operasi optimum tercapai. Namun, titik operasi optimum aktual terjadi ketika arus 400 A. Di mana nilai efisiensi energi dan efisiensi faraday berdekatan. Penurunan titik operasi optimum seperti yang ditunjukkan di gambar 7 disebabkan oleh menurunnya performa alat.

Hubungan waktu terhadap jumlah hidrogen yang dihasilkan

Tabel 6. Hubungan waktu terhadap volume hidrogen pada arus tetap

| Current (mA) | Waktu (s) | Volume H ₂ /ml (awal) | Volume H ₂ /ml (aktual) |
|--------------|-----------|----------------------------------|------------------------------------|
| 850 | 60 | 5,5 | 5,5 |
| 850 | 90 | 8,5 | 8,5 |
| 850 | 120 | 11,5 | 11,5 |
| 850 | 150 | 15 | 14,5 |
| 850 | 180 | 18,5 | 18 |
| 850 | 210 | 22 | 21,5 |



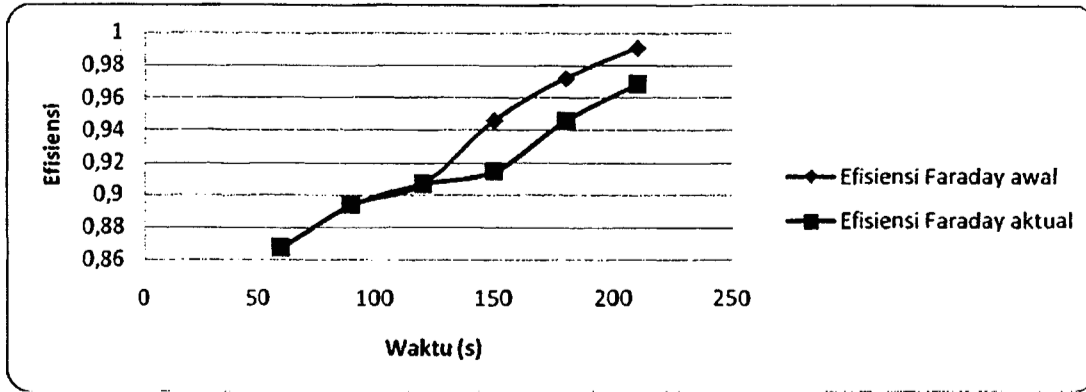
Gambar 7. Hubungan waktu terhadap volume hidrogen pada waktu berubah

Dari table 6 dan gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin besar waktu yang digunakan maka semakin banyak volume atau jumlah hidrogen yang dihasilkan. Hal ini karena semakin besar waktu maka jumlah air yang terurai semakin banyak sehingga volume hidrogen yang dihasilkan menjadi semakin banyak.

Hubungan waktu terhadap efisiensi faraday

Tabel 7. Hubungan waktu terhadap terhadap efisiensi faraday pada arus tetap

| Current (mA) | Time (S) | Volume H ₂ /ml (awal) | Volume H ₂ /ml (aktual) | Volume H ₂ teoritis/ml | Efisiensi Faraday awal | Efisiensi Faraday aktual |
|--------------|----------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 850 | 60 | 5,5 | 5,5 | 6,343020604 | 0,8670948 | 0,8670948 |
| 850 | 60 | 5,5 | 8,5 | 9,514530907 | 0,8933704 | 0,8933704 |
| 850 | 120 | 11,5 | 11,5 | 12,68604121 | 0,9065082 | 0,9065082 |
| 850 | 120 | 15 | 14,5 | 15,85755151 | 0,9459216 | 0,9143908 |
| 850 | 120 | 11,5 | 8,5 | 19,02906181 | 0,9721972 | 0,9459216 |
| 850 | 210 | 22 | 21,5 | 22,20057212 | 0,9909655 | 0,9684435 |



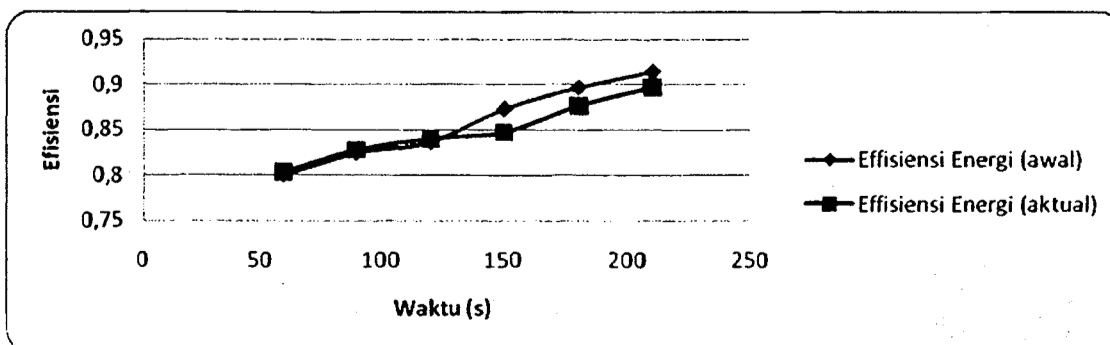
Gambar 8. Hubungan waktu terhadap terhadap efisiensi faraday pada arus tetap

Dari tabel 7 dan gambar 8 dapat dilihat bahwa efisiensi faraday cenderung meningkat sejalan dengan kenaikan waktu. Dari tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai volume H₂ Aktual selalu lebih rendah dari volume H₂ Teoritis. Hal ini menyebabkan nilai efisiensi faraday selalu dibawah 1, sesuai dengan persamaan yang telah disebutkan di landasan teori. Selain itu, dapat dilihat di tabel 7 dan gambar 8 ada perbedaan antara efisiensi faraday awal dan aktual yang disebabkan oleh penurunan performa alat.

Hubungan waktu terhadap efisiensi energi

Tabel 8. Hubungan Waktu Terhadap Efisiensi Energi

| Current (mA) | Waktu (s) | Tegangan (V) awal | Tegangan (V) aktual | Efisiensi Energi (awal) | Efisiensi Energi (aktual) |
|--------------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| 850 | 60 | 1,60668 | 1,6 | 0,800091 | 0,803431 |
| 850 | 90 | 1,60668 | 1,6 | 0,8243362 | 0,827778 |
| 850 | 120 | 1,60668 | 1,6 | 0,8364588 | 0,839951 |
| 850 | 150 | 1,60668 | 1,6 | 0,8728265 | 0,847255 |
| 850 | 180 | 1,60668 | 1,6 | 0,8970717 | 0,876471 |
| 850 | 210 | 1,60668 | 1,6 | 0,9143897 | 0,897339 |



Gambar 9. Hubungan waktu terhadap efisiensi energi

Dari tabel 8 dan gambar 9 dapat dilihat bahwa efisiensi energi selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Menurut persamaan yang disebutkan di landasan teori efisiensi energi berbanding terbalik dengan waktu. Namun, ketika arus dan voltasenya tetap, maka perubahan waktu tidak terlalu signifikan sehingga efisiensi energinya naik mengikuti kenaikan jumlah hidrogen yang dihasilkan.

Tabel 9. Hubungan efisiensi faraday dan efisiensi energi pada waktu berubah



Lembar Tanya Jawab

Moderator: Widayati (UPN "Veteran" Yogyakarta)

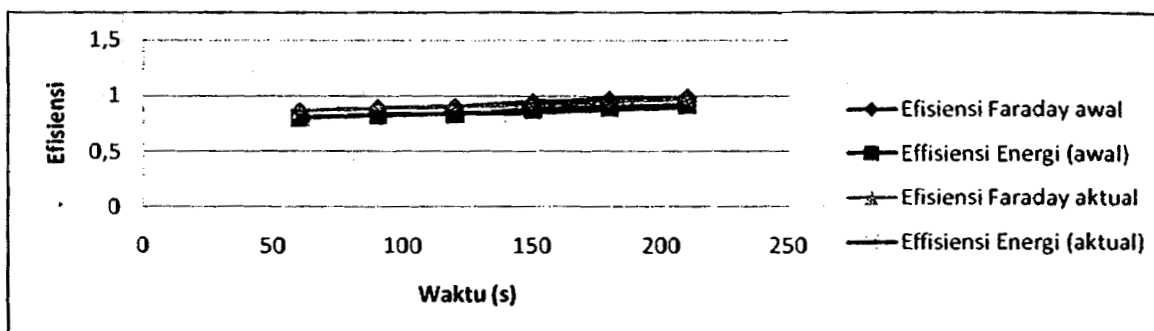
1. Penanya : Nadya
Pertanyaan : Mengapa cara elektrolisa menggunakan PEM electrolyzer? Bagaimana pengaruh lampunya?
Jawaban : Karena sangat efisiensi mencapai hampir 90%. (sangat efisien). Dengan menggunakan watt yang sama, lampu kuning lebih baik/ lebih cepat menghasilkan hydrogen.
2. Penanya : Yovi
Pertanyaan : Kalau tegangan < 1,39 volt bagaimana?
Jawaban : Tidak terjadi elektrolisis.
3. Penanya : Beny Salda
Pertanyaan : Kalau arusnya besar, apa pengaruhnya terhadap efisiensi?
Jawaban : Efisiensi energinya akan turun.





Titik operasi optimum pada waktu berubah

| Current (mA) | Waktu (s) | Efisiensi Faraday awal | Efisiensi Faraday aktual | Effisiensi Energi (awal) | Effisiensi Energi (aktual) |
|--------------|-----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 850 | 60 | 0.8670948 | 0.8670948 | 0.800091 | 0.803431 |
| 850 | 90 | 0.8933704 | 0.8933704 | 0.8243362 | 0.827778 |
| 850 | 120 | 0.9065082 | 0.9065082 | 0.8364588 | 0.839951 |
| 850 | 150 | 0.9459216 | 0.9143908 | 0.8728265 | 0.847255 |
| 850 | 180 | 0.9721972 | 0.9459216 | 0.8970717 | 0.876471 |
| 850 | 210 | 0.9909655 | 0.9684435 | 0.9143897 | 0.897339 |



Gambar 10. Hubungan efisiensi faraday dan efisiensi energi pada waktuberubah

Dari tabel 9 dan gambar 10 dapat dilihat bahwa titik operasi optimum awal tercapai ketika waktu operasi 210 detik. Di mana nilai efisiensi energi mendekati efisiensi faraday. Begitu pula dengan titik operasi optimum actual terjadi ketika operasi telah berjalan 210 detik. Namun, berbeda dengan gambar 6, pada gambar 10 tidak terjadi perpotongan antara garis efisiensi energi dengan efisiensi faraday. Hal ini dikarenakan bertambahnya waktu operasi tidak begitu mempengaruhi efisiensi energy ketika arus dan voltasenya tetap, sehingga efisiensi energinya naik mengikuti kenaikan jumlah hidrogen yang dihasilkan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada karakteristik kurva arus voltase menunjukkan bahwa arus mulai dapat diukur pada saat mencapai tegangan tertentu (tegangan dekomposisi) dan setelah itu akan mulai naik. Tegangan kecil dibawah 1,39 volt (misalnya 1.2 volt) tidak menimbulkan arus elektrolisis yang akan melepaskan hydrogen di katoda dan oksigen di anoda.
2. Jumlah material yang dihasilkan (dalam hal ini hidrogen) berbanding lurus dengan waktu dan arus.
3. Pada waktu tetap, semakin tinggi arus yang diberikan, efisiensi energi akanturun.
4. Pada arus tetap, semakin lama waktu operasi, efisiensi energi akannaik.

Ucapan Terimakasih

Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Ramli Sitanggang, MT selaku pembimbing pertama yang telah memberi bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan penelitian.
2. Ir. Yusuf Izidin, MT selaku pembimbing kedua yang telah memberi bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan penelitian.
3. Kedua orang tua dan keluarga penyusun yang telah mendukung serta selalu memberi doa dan semangat.
4. Rekan-rekan yang telah bekerja sama dalam pelaksanaan praktikum.
5. Semua pihak yang turut membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan laporan ini

Daftar Notasi

A = arus [ampere]





V = tegangan [volt]
s = waktu [sekon]
V = volume [l]

Daftar Pustaka

- Kelly, Nelson A., Gibson, Thomas L., Ouwerkerk, David B. (2011). *Generation of high- pressure hydrogen for fuel cell electricvehicles using photovoltaic-powered water electrolysis*. International Journal of Hidrogen 36:15083-15825.
- Barbir, Frano.(20045). *PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources*. Solar Energy 78: 661-669.
- Conibeer, G.J and Richards, B.S. (2007).*A comparison of PV/electrolyser and photoelectrolytic technologies for use in solar to hydrogen energy storage systems*.International Journal of Hidrogen 32:2703-2711.
- Gibson, Thomas L and Kelly, Nelson A. (2008.)*Optimization of solar powered hydrogen production using photovoltaic electrolysis devices*. International Journal of Hidrogen 33: 5391-5940.
- Gibson, Thomas L and Kelly, Nelson A. (2010) *Predicting efficiency of solar powered hydrogen generation using photovoltaic-electrolysis devices* General Motors Research and Development Center. International Journal of Hidrogen 35:900-911.
- Selamet, Ömer Faruk., Becerikli, Fatih., Mat, Mahmut D., Kaplan, Yüksel. (2011). *Development and testing of a highly efficient proton exchange membrane (PEM) electrolyzer stack*. International Journal of Hidrogen 36:11480-11487.
- Averil mcdonal, dkk.2010. *Science Through Hidrogen- clean energy for the future*. Heliocentris energy system GmbH : Berlin
- Notonegoro, Hamdan Akbar. 2008 *Membuat Alat Pengubah air Menjadi Bahan Bakar*. Paper Fisika, Universitas Indonesia
- Putra, Arbie Marwan. 2010. *Analisis Produktivitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen Pada Elektrolisis Larutan KOH*. Jurnal Fisika Neutrino Vol. 2, No.2.
- Putra, Dhika Ramadhanny. *Kajian Eksperimental Pengaruh Penggunaan Gas Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel*. Paper Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
- Suhada, Hendrata. 2002. *Fuel Cell sebagai Motor Bakar pada Kendaraan*. Jurnal Mesin, Universitas Kristen Petra.
- Sutomo, et all.2011. *Pengaruh Elektroliser terhadap Kepekaan Bahan Bakar pada Mesin Diesel 1 Silinder 20 HP*. Jurnal Teknik Mesin, Gema Teknologi Vol. 16, No. 2.

