

## UJI KINERJA SMART GRID FUEL CELL TIPE PROTON EXCHANGE MEMBRANE (PEM) DENGAN PENAMBAHAN HIDROGEN

Icimi Alif Safitri\*, Bayu Rudiyanto\*, Agus Nursalim \* dan Budi Hariono\*\*

\*Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

\*\*Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

Jl. Mastrip PO BOX 164, Jember

Email : bayu.poltek02@gmail.com

### ABSTRACT

*Fuel Cell Membrane Proton Exchange is a form of renewable energy system working based on electrochemical and producing unidirectional electro influx (DC) without remaining pollutant. This system uses hydrogen as a reactant and Oxygen as an oxidant. This research focuses on one kind of fuel cell that is Proton Exchange Membrane (PEM). This study can be used as a basic of preliminary study for future studies. The result of this study showed with the square of membrane surface which is as big as  $2 \times 10 \text{ cm}^2$ , it produced a light on a lamp. On the other hand, by using a gas, the result of electrolysis, as big as 0,025 Watt with 8,495% efficiency, and when it was added by hydrogen with open input  $30^\circ$ , the power produced was 0,272 watt with 31.092% efficiency. While when it was added by hydrogen with open input  $45^\circ$ , the power produced was 0,277 watt with 26,355% efficiency. It can be concluded that the speed of the chemical energy entering the Fuel Cell affected the continuity of the product of electrical energy.*

**Keywords:** *Electrochemical, Hydrogen, PEM fuel cell*

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerjayang meliputi daya keluaran yang dihasilkan serta efisiensi kerja dari salah satu jenis *fuel cell* yaituproton exchange membrane fuel cell dengan luas permukaan membran sebesar  $2 \times 10 \text{ cm}^2$ . Suplai gas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bukaan valve sebesar  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ , serta menggunakan gas hasil reaksi elektrolisis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh *fuel cell* dengan menggunakan gas hasil rekasi elektrolisisi *purified water* ketika dilakukan pembebanan berupa lampu sebsar 0.025 watt dengan nilai efisiensi 8.495%, sedangkan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $30^\circ$  sebesar 0.272 watt dengan nilai efisiensi 31.092% dan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $45^\circ$  sebesar 0.277 watt dengan nilai efisiensi 26.355%. Sedangkan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $90^\circ$  *fuel cell* tidak menghasilkan daya keluaran dikarenakan pada bukaan tersebut terjadi *over flow gas*, sehingga tidak ada reaksi yang terjadi di dalam *fuel cell*.

**Kata Kunci :** *Electrochemical, Hydrogen, PEM fuel cell*

## PENDAHULUAN

Studi perencanaan energi yang dilakukan pada tahun 2003/2004 memperkirakan pertumbuhan penduduk rerata 1.4% per tahun atau dari 212 juta tahun 2002 menjadi 273 juta pada tahun 2020, dimana pertumbuhan tersebut juga diikuti oleh meningkatnya permintaan akan energi listrik. Hal tersebut mendorong upaya dalam penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan, ekonomis dan *renewable energy*. Hal ini juga sejalan dengan kesadaran cinta lingkungan pada agenda 21, Earth Summit di Rio De Janeiro, Brazil, 2001. Dimana salah satu upaya pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan adalah aplikasi *fuel cell*. *Fuel Cell* merupakan alat elektrokimia yang mereaksikan hidrogen dan oksigen untuk menghasilkan listrik dengan produk samping panas dan air tanpa ada proses pembakaran sehingga meminimalkan adanya polusi. Teknologi *fuel cell* pertama kali ditemukan oleh Sir William Robert Grove pada tahun 1893, dimana ia mendemonstrasikan hidrogen dan oksigen melalui pemecahan uap dengan menggunakan pemanasan katalis berupa platinum. Aplikasi *fuel cell* yang paling mutakhir yaitu pada aplikasi pesawat ulang-alik NASA sebesar 12 KW dengan jenis alkaline *fuel cell*, dimana pada alkaline *fuel cell* dibutuhkan hidrogen dan oksigen murni untuk menghasilkan listrik. Departemen Energi Amerika telah melakukan riset sejak tahun 1970, tipe *Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)* sebagai pembangkit listrik yang saat ini telah dalam tahap komersialisasi.

Jenis *fuel cell* lainnya yang saat ini menjadi isu global adalah *Proton Exchange Membran Fuel Cell (PEMFC)*, *PEMFC* memiliki rapat arus yang tinggi, mudah didistribusikan dan beroperasi pada temperatur rendah. Wijaya dan Ambarita pada tahun 2013 melakukan penelitian analisa kerugian tegangan pada ruang alir *Proton Exchange Membran Fuel Cell* dengan kapasitas 20 W. Selain itu Pratama dan Sitepu pada tahun 2012 juga melakukan kajian terhadap tegangan yang dibangkitkan dan konsumsi hidrogen pada *Proton Exchange Membran Fuel Cell* dengan kapasitas 20 W. Ronilaya pada tahun 2011 juga melakukan penelitian tentang model dan unjuk kinerja dinamis sistem *fuel cell* Tipe *Proton Exchange Membran Fuel Cell*. Upaya pengembangan *fuel cell* yang saat ini menjadi isu global menuntut studi tentang model, unjuk kinerja dan karakteristik dari berbagai macam tipe *fuel cell*, khususnya tipe *PEMFC* dalam rangka memperoleh disain atau rancangan

*fuel cell* yang layak baik dari segi teknis maupun ekonomis.

Penelitian ini melakukan uji kinerja pada *Proton Exchange Membran Fuel Cell* dengan luas permukaan membran sebesar  $2 \times 10 \text{ cm}^2$ . Uji kinerja ini dilakukan untuk mengevaluasi komponen – komponen *fuel cell* supaya penurunan potensial sel yang berakibat pada rendahnya daya keluaran dapat dihindari, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan langkah untuk pengembangan *proton exchange membran fuel cell (PEMFC)* kedepannya.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Fuel Cell*

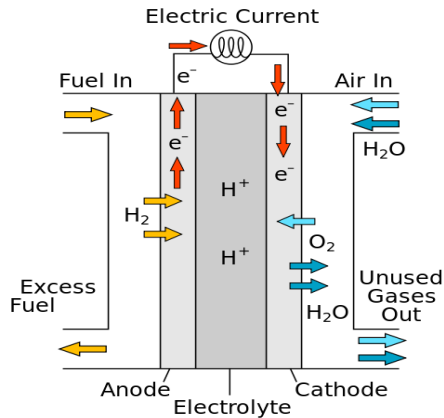
*Fuel Cell* menurut definisi adalah sebuah sel-sel listrikyang dapat menyimpan energi listrik terus menerus sehingga dapat menyalurkan daya listrik berkelanjutan tanpa batas waktu. Sel bahan bakar (*fuel cell*) termasuk dalam golongan sel galvanik, di mana energi kimia dari suatu reaksi kimia dikonversikan menjadi energi listrik dan berlangsung secara kontinyu. Penemuan *fuel cell* sebagai sistem konversi energi diawali pada pertengahan abad ke-19. Penemuan *fuel cell* ini diprakarsai oleh Sir William Grove, namun prinsip kerja *fuel cell* lebih dahulu diprakarsai oleh Christian Friedrich Schönbein (1829-1868) (Bossel, 2000), seorang professor dari Universitas Basle.

Sel bahan bakar (*fuel cell*) adalah sebuah alat yang mirip dengan baterai. Perbedaannya, reaktan *fuel cell* yang terkonsumsi dapat diisi terus-menerus, sel bahan bakar memproduksi listrik dari penyediaan bahan bakar hidrogen dan oksigen sebagai pengikat gas buang. Hal ini berbeda dengan energi internal dari baterai. Sebagai tambahan, elektroda dalam baterai bereaksi dan berganti pada saat baterai diisi atau dibuang energinya, sedangkan elektroda sel bahan bakar adalah katalitik dan relatif stabil.

Reaktan yang biasanya digunakan dalam sebuah sel bahan bakar adalah hidrogen di sisi anoda dan oksigen di sisi katoda (sebuah sel hidrogen). Biasanya, aliran reaktan mengalir masuk dan produk dari reaktan mengalir keluar. Sehingga operasi jangka panjang dapat terus menerus dilakukan selama aliran tersebut dapat dijaga kelangsungannya. Sel bahan bakar dianggap sangat menarik dalam aplikasi modern karena efisiensi tinggi dan penggunaan bebas-emisi, berlawanan dengan bahan bakar umum seperti metana atau gas alam yang menghasilkan karbon dioksida. Satu-satunya hasil produk dari bahan bakar yang beroperasi menggunakan hidrogen murni adalah uap air.

*Fuel cell* merupakan teknologi elektrokimia yang secara kontinyumengkonversi energi kimia menjadi energi listrik selama terdapat bahan bakar dan pengoksidan (Idham, 2009). *Fuel cell* tersusun atas anoda, katoda dan elektrolit(membran). Pada anoda terdapat bahan bakar gas hidrogen. Anoda berperan sebagai tempat terjadinya pemecahan hidrogen ( $H_2$ )menjadi proton dan elektron (listrik).Sedangkan pada katoda terdapat gas oksigen yang digunakan sebagai oksidator. Katoda berperan sebagai tempat terjadinya reaksi penggabungan proton, elektron dan oksigen untuk membentuk air.Hidrogen yang berasal dari anoda diubah menjadi ion hidrogen dan elektron. Pada katoda, oksigen direduksi dengan adanya elektron. Perbedaan potensial yang terjadi pada anoda dan katoda inilah yang menghasilkan arus listrik, elektrolit merupakan media untuk mengalirkan proton(Awaludin, 2009).

Sistem sel ini memanfaatkan berbagai bahan bakar berupahidrokarbon dari gas alam seperti metanol karena bahan bakar bekerja dalam sebuah reaksi kimia bukan pada prinsip pembakaran, tentu saja gasemisifuel cell yang dihasilkan jauh lebih kecil dibandingkan kinerja mesin berdasarkan pada proses pembakaran yang menghasilkan emisi seminim sekalipun . Skema sel bahan bakar dapat diliaha pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Sel Bahan Bakar

Pada *fuel cells* berbahan bakar hidrogen, ketika molekul hidrogen melakukan kontak dengan anoda, molekul tersebut terpisah menjadi ion hidrogen

dan elektron. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju katoda dan menimbulkan aliran listrik. Ion hidrogen melewati elektrolit (membran) menuju katoda, lalu bergabung dengan elektron dan oksigen dari udara kemudian membentuk molekul air (Zahara, 2011).

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi perkembangan teknologi *fuel cell* adalah semakin meningkatnya perhatian terhadap dampak yang ditimbulkan oleh bahan

bakar fosil terhadap lingkungan. Ketergantungan negara-negara industri terhadap minyak menyebabkan krisis minyak. *Fuel cell* diharapkan menekan ketergantungan terhadap bahan bakar minyak fosil dan akan mengurangi bahkan menghilangkan dayarusak emisi-emisi terhadap atmosfer. Dengan menggunakan gas murni, *fuel cell* hanya menghasilkan air. Selain itu *fuel cell* memiliki beberapa keunggulan antara lain yaitu (Lamine *et al.*, 2000) :

1. Mampu mengkonversi energi kimia langsung menjadi energi listrik dengan efisiensi yang tinggi, bahkan pada kapasitas yang kecil sekalipun
2. Tidak melalui proses pembakaran
3. Tidak terdapat komponen bergerak dalam *fuel cell*, sehingga kehandalan teknisnya dapat disejajarkan dengan baterai
4. Efisiensi naik dengan penurunan suhu operasi dan efisiensi tersebut lebih baik pada beban rendah
5. *Fuel cell* beroperasi tanpa bising dan hampir tanpa limbah
6. Strukturnya *compact*, lebih ringan dan kecil dibanding dengan perangkat sistem pembangkit listrik lain, kecuali baterai
7. Waktu yang diperlukan untuk konstruksi dan instalasi pembangkit listrik lebih pendek dibanding sistem pembangkit batu bara dan nuklir
8. Biaya transmisi lebih rendah karena *fuel cell* dapat ditempatkan di berbagai lokasi sesuai kebutuhan.

Namun ada juga beberapa kekurangan *fuel cell* secara umum, yaitu:

1. Harga pasaran yang relatif lebih tinggi dari listrik yang ada saat ini
2. Belum tersedianya infrastruktur yang memadai, atau biaya pengadaannya tinggi
3. Hidrogen tidak tersedia dengan mudah untuk digunakan sebagai bahan baku.

#### 2.5.1 Prinsip kerja Fuel Cell

*Fuel cell* menggunakan reaksi kimia, lebih baik daripada mesin pembakaran, untuk memproduksi energi listrik. Istilah *Fuel cell* sering dikhususkan untuk hidrogen-oksigen *fuel cell*. Prosesnya merupakan kebalikan dari elektrolisis. Pada elektrolisis, arus listrik digunakan untuk menguraikan air menjadi hidrogen dan oksigen. Dengan membalik proses ini, hidrogen dan oksigen direalisasikan dalam *fuel cell* untuk memproduksi air dan arus listrik.

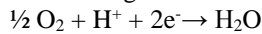
Konversi energi *fuel cell* biasanya lebih efisien daripada jenis pengubah energi lainnya. Efisiensi konversi energi dapat dicapai hingga 60-80%. Keuntungan lain *fuel cell* adalah mampu menyuplai energi listrik dalam waktu yang cukup lama. Tidak seperti baterai yang hanya mampu

mengandung material bahan bakar yang terbatas, *fuel cell* dapat secara kontinu diisi bahan bakar (hidrogen) dan oksigen dari sumber luar. *Fuel cell* merupakan sumber energi ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polutan dan dapat digunakan terus-menerus jika suplai hidrogen yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui.

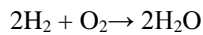
*Fue cell* terdiri atas anoda, katoda, elektrolit dan katalis. Di anoda, dengan bantuan katalis bahan bakar (umumnya gas hidrogen) mengalami oksidasi membentuk dua ion  $H^+$ . Reaksi yang terjadi di anoda adalah sebagai berikut :



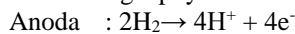
Ion  $H^+$  yang dihasilkan akan melewati membran elektrolit dan menuju katoda, sedangkan elektronnya akan bergerak melalui sirkuit luar dan menghasilkan arus listrik, lalu bergerak lagi menuju katoda. Di katoda, ion  $H^+$ , oksigen dan elektron bereaksi menghasilkan air ( $H_2O$ ). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Sehingga, total reaksi keseluruhan adalah

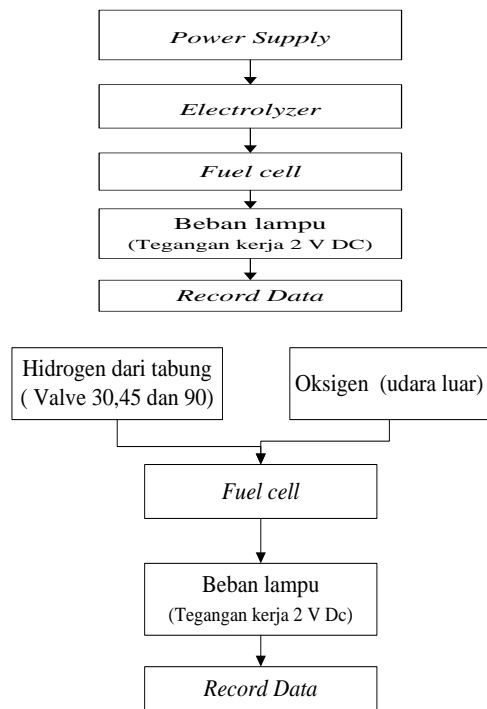


Reaksi lengkapnya adalah sebagai berikut :



## METODOLOGI

Dalam uji kinerja ini dilakukan dua jenis inputan gas. Gas hasil dari reaksi elektrolisis menggunakan *purified water* dan gas dari tabung hidrogen dengan variasi laju alir massa menggunakan bukaan valve sebesar  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ . Adapun digram alir penelitian dalam uji kineja *PEMFC* dengan luas permukaan membran sebesar  $2 \times 10 \text{ cm}^2$  adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir pengujian *PEMFC*

Data yang didapat dari diagram alir tersebut berupa data yang nantinya digunakan untuk menghitung efisiensi dari kinerja *fuel cell*. Untuk data laju alir massa menggunakan alat *flow meter gas* yang telah disimulasikan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

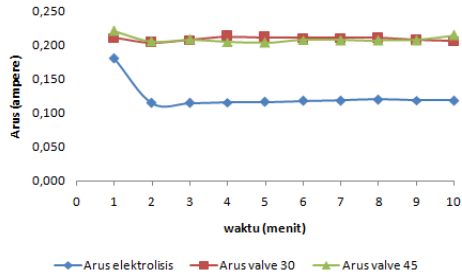
Pengujian *fuel cell* dengan menggunakan beban dilakukan selama 10 menit di setiap prosesnya. Beban yang digunakan dalam uji kinerja *PEMFC* dengan luas permukaan membran sebesar  $2 \times 10 \text{ cm}^2$  berupa lampu dengan tegangan kerja 2 V DC. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil uji kinerja *fuel cell* meliputi nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan *fuel cell* setelah dilakukan pembebanan.

Tabel 1 Hasil uji kinerja *fuel cell* setelah pembebanan

	Jenis Proses	waktu	V(Volt)	I(Ampere)	P(Watt)
1	Elektrolisis	10 menit	0.204	0.124	0.025
2	Hidrogen Valve 30	10 menit	1.3	0.209	0.272
3	Hidrogen Valve 45	10 menit	1.301	0.208	0.277

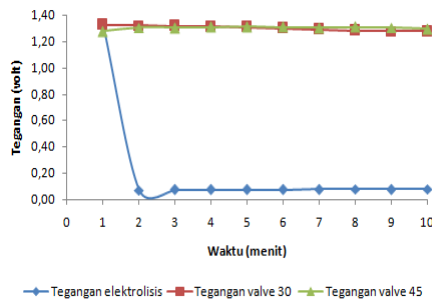
Perbedaan nilai yang dihasilkan oleh *fuel cell* tersebut disebabkan oleh gas yang di suplai ke *fuel cell*. Gas yang di suplai ke *fuel cell* mempengaruhi besar daya yang dihasilkan oleh *fuel cell*. Penambahan hidrogen yang dilakukan dengan perbedaan bukaan valve, berpengaruh

kecil terhadap tegangan dan daya yang dihasilkan hal tersebut dikarenakan kesesuaian dengan batas kemampuan daya pembangkitan *fuel cell*, akan tetapi pengaruh penambahan hidrogen akan berdampak besar pada efisiensi *fuel cell*.



Gambar 3 Arus keluaran setelah pembebanan

Arus keluaran *PEMFC* yang ditunjukkan pada gambar 3 menggambarkan bahwasannya penggunaan gas hasil dari reaksi elektrolisis menyebabkan penurunan arus yang sangat tajam. Pada bukaan valve sebesar 30° dan 40° arus keluaran *fuel cell PEMFC* cenderung stabil, hal tersebut disebabkan oleh kesinambungan gas yang tereaksi dalam *PEMFC*.



Gambar 4 Tegangan keluaran oleh pembebanan

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap tegangan setelah dilakukan pembebanan. Sama halnya dengan arus keluaran *PEMFC*, tegangan keluaran *PEMFC* oleh gas hasil reaksi elektrolisis mengakibatkan tegangan sebesar 1.320 volt menurun tajam menuju 0 hal tersebut disebabkan ketidaksinambungan gas hasil reaksi elektrolisis pada *PEMFC*, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan menurun tajam. Berbeda dengan pada bukaan valve sebesar 30° dan 40° tegangan keluaran yang dihasilkan konstan sehingga pada saat dilakukan pembebanan, beban yang diberikan pada *PEMFC* dapat menyala dengan konstan. Pada bukaan valve yang ke 90°, hidrogen yang mengalir ke *fuel cell* tidak dapat menghasilkan listrik sehingga beban berupa lampu tidak dapat menyala. Hal tersebut dimungkinkan pada bukaan valve ke 90° *flow rate* gas yang masuk ke *fuel cell* mengalami

*over flow*. Tabel 2 menunjukkan hubungan inputan hidrogen terhadap daya keluaran *fuel cell*.

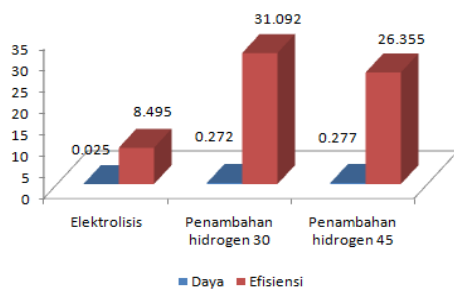
Tabel 2 Rata-rata inputan hidrogen dan daya keluaran *fuel cell*

Keterangan	Q(L/s)	Daya (Watt)
Elektrolisis	4.51E-05	0.025
Penambahan hidrogen 45	1.26E-04	0.277
Penambahan hidrogen 30	1.07E-04	0.272

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dari proses elektrolisis memiliki daya yang rendah sehingga ketika dilakukan pembebanan lampu tidak dapat menyala dengan waktu yang lama. Dengan kata lain *fuel cell* yang menggunakan hasil dari reaksi elektrolisis memerlukan penambahan suplai hidrogen. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa suplai gas yang diberikan oleh elektrolisis tidak mampu membuat *fuel cell* menghasilkan kontinuitas listrik. Hal tersebut dikarenakan rendahnya gas yang di produksi oleh *elektrolizer*. Perlu pengoptimalan produksi gas oleh *elektrolizer*. Sehingga tanpa penambahan hidrogen dari luar, *fuel cell* tersebut sudah mampu menyalakan beban lampu secara kontinyu.

Laju hidrogen perlu dioptimasi agar diperoleh kesetimbangan stoikiometri dan menghindari adanya *dead point* (drop arus), walaupun pada sistem ini tekanan hidrogen dalam stack mampu terjaga relatif konstan. *Dead point* (drop arus) muncul akibat ketidakseimbangan stoikiometri dari hidrogen dan oksigen sehingga pada titik tertentu *PEMFC* akan kehabisan gas reaktan yang mengakibatkan potensial sel turun drastis menuju nol dan arus tidak dapat ditingkatkan lagi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengoptimalkan kinerja dari *elektrolizer* yang digunakan.

Penambahan katalis pada *elektrolizer* juga diperlukan supaya gas yang dihasilkan mampu menyalakan beban lampu secara kontinyu, karena keterbatasan alat yang digunakan, pengoptimalan kinerja *elektrolizer* tidak dapat dilakukan dengan menambahkan jumlah plat, mengubah ukuran plat dan mengoptimalkan jarak antar plat, dari keterbatasan alat tersebut cara untuk meningkatkan hasil produksi gas, khususnya gas hidrogen adalah harus menambahkan katalis atau merubah jenis larutan. Akan tetapi penambahan katalis atau mengubah jenis larutan pada *elektrolizer* akan menyebabkan *fouling*, menurunkan performa alat dan juga dapat merusak alat, sehingga maintenance dari *elektrolizer* harus dimaksimalkan.



Gambar 5 Kinerja PEM fuel cell

Rata-rata nilai efisiensi *fuel cell* ditunjukkan pada gambar 5, dimana rata-rata efisiensi menggunakan elektrolisis sebesar 8.519 %, penambahan hidrogen dengan bukaan valve (1) 30<sup>0</sup> rata-rata efisiensi sebesar 30.748% dan penambahan hidrogen dengan bukaan valve (2) 45<sup>0</sup> rata-rata efisiensi sebesar 26.178%. Tingginya nilai efisiensi pada penambahan hidrogen disebabkan oleh suplai gas yang dikonsumsi oleh *fuel cell*.

Efisiensi dengan penambahan hidrogen lebih besar pada valve pertama di dibandingkan pada bukaan valve kedua, hal tersebut menunjukkan bahwasanya hidrogen pada bukaan valve 1 kinerjanya lebih optimal daripada pada bukaan valve 2. Kinerja *fuel cell* dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *fuel cell* diantaranya : Variabel operasi mempengaruhi kinerja *fuel cell*, suhu yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi keluaran dari sistem *fuel cell*, dimana membran pada *stack fuel cell* dapat menjadi terlalu lembab atau terlalu kering, sehingga tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dapat menurun. Suhu kerja juga merupakan salah satu parameter yang dapat dikendalikan untuk optimalisasi efisiensi sistem secara menyeluruh. Akan tetapi pada alat *proton exchange membran fuel cell* ini, suhu operasi tidak dapat diketahui karena keterbatasan alat yang ada. Tekanan gas yang masuk ke *fuel cell* juga mempengaruhi, semakin besar tekanan gas yang masuk maka kontak antara gas dengan anoda semakin cepat sehingga listrik yang dihasilkan oleh *fuel cell* semakin banyak. Komposisi gas yang digunakan, semakin murni gas yang digunakan maka hidrogen yang tereaksi di dalamnya akan sempurna.

## KESIMPULAN

1. Daya yang dihasilkan oleh PEMFC dengan luasan membran sebesar 2×10 cm<sup>2</sup> pada proses elektrolisis 0.025 Watt, penambahan hidrogen bukaan valve 30<sup>0</sup> sebesar 0.272 Watt dan penambahan hidrogen bukaan valve 45<sup>0</sup> sebesar 0.277 Watt.
2. Efisiensi *fuel cell* dengan proses elektrolisis sebesar 8.495%, penambahan hidrogen

bukaan valve 30<sup>0</sup> sebesar 31.092 % dan penambahan hidrogen bukaan valve 45<sup>0</sup> sebesar 26.355 %.

3. *Smart grid fuel cell* memiliki kinerja yang baik karena dengan penambahan hidrogen yang diberikan *proton exchange membran fuel cell* mampu menyalakan beban lampu dengan kontinyu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, K. 2012. *Pengkondisian Tegangan Konstan Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Horizon H-1000 Menggunakan Buck Converter*. Tesis. Depok: Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Chadrasa G.T. 2009. *Penelitian Pengaruh Pengontrol Panas Terhadap Daya Keluaran Stack Fuel Cell PEM dengan Beban Dinamis*. Jurnal Ilmiah Tek.Energi Vol.1 (9)
- Garrain D, Y. Lechon and C.D.L Rua.2011. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) in Automotive Application : Environmental Relevance of the Manufacturing Stage*. Smart Grid and Renewable Energy 2 (68-74)
- Gunawan E. dan S Kawano. 2012. *Tinjauan Produksi HHO dari 4 Jenis Elektroda Stainless Steel*. Jurnal Teknik POMITS, Vol.1(1)
- Kuncoro, D. D. 2008. *Simulasi Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Sebagai Pembangkit Listrik Perumahan*. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Pratama R.P dan T Sitepu.2012. *Kajian Tegangan yang Dibangkitkan dan Konsumsi Hidrogen pada Sel Bakar Polymer Electrolyte Membrane Kapasitas 20 W*. Jurnal Dinamis, Vol.1 (11)
- Rayment C and S. Sherwin. 2003. *Introduction to Fuel Cell Technology*. Departement of Aerospace and Mechanical Engineering. University of Notre Dame. U.S.A.
- Ronilaya F. 2011. *Model dan Unjuk Kinerja Dinamis Sistem Sel Bahan Bakar Tipe (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) PEMFC*. Jurnal Teknik. Vol.09 (1)
- Wijaya R.W dan H Ambarita, 2013. *Analisa Kerugian Tegangan dan Penurunan Tekanan pada Ruang Alir Terhadap Sel Bahan Bakar Jenis Membran Elektrolit Polimer Kapasitas 20 W*. Jurnal Dinamis Vol.I (13)

