

KAJIAN KINERJA POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL OPEN CATHODE TERHADAP VARIASI TEGANGAN KIPAS KATODA DAN VARIASI LAJU ALIR HIDROGEN

Yuyun Irmawati, Indriyati, Holia Onggo dan Rike Yudianti

*Pusat Penelitian Fisika (P2F) - LIPI
Jl. Sangkuriang/Cisitu No.21/154D, Bandung
e-mail: irmawatiyuyun@gmail.com*

ABSTRAK

KAJIAN KINERJA POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL OPEN CATHODE TERHADAP VARIASI TEGANGAN KIPAS KATODA DAN VARIASI LAJU ALIR HIDROGEN. Kajian untuk pengaruh variasi tegangan kipas dan laju alir gas hidrogen terhadap hasil rapat daya serta fitting kurva potensial untuk mendapatkan parameter overpotensial pada *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)* dengan sistem *open cathode* telah dilakukan. Pada *stack PEMFC* yang terdiri atas dua sel dengan aktif area 30 cm², dipasang tegangan kipas dengan variasi 3 Volt hingga 12 Volt yang berasal dari tegangan listrik eksternal. Dari rapat daya yang diperoleh, variasi tegangan kipas, yang berfungsi sebagai pendingin *stack* dan mampu meningkatkan produksi rapat daya sebesar 47 % hingga 67 % dibandingkan bila tidak menggunakan kipas. Nilai rapat daya maksimal (73,26 mW/cm²) diperoleh pada tegangan kipas 3 Volt. Untuk variasi laju alir hidrogen yang rendah sebesar 20 mL/menit hingga 40 mL/menit, diperoleh adanya *dead point* disebabkan ketidakseimbangan stoikiometri hidrogen dengan oksigen sehingga potensial sel turun tajam menuju nol. Pada laju alir hidrogen 50 mL/menit menghasilkan nilai rapat daya optimum sebesar 79 mW/cm². Berdasarkan hasil *fitting* kurva polarisasi dengan persamaan empiris, penambahan laju alir hidrogen menyebabkan meningkatnya overpotensial aktivasi dan menurunnya overpotensial difusi yang disebabkan oleh faktor hidrogen *crossover* dan dehidrasi membran, sedangkan untuk overpotensial ohmik terlihat relatif konstan.

Kata kunci: PEMFC, Open cathode, Fitting kurva polarisasi

ABSTRACT

STUDYING ON INFLUENCE OF VARIATION FOR VOLTAGES AND HYDROGEN RATES TO POWER DENSITY PRODUCTION OF POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL. The studying on influence of variation fan voltages and hydrogen flow rates to power density production of polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) had been done. There was also a polarisation curve fitting method to investigate dependence of over potential losses with variation hydrogen flow rates (20-100 mL/minute). Double cells of open cathode PEMFCs stack with active area of 30 cm² was applied with different fan voltages (3-12 Volt) which were got from external electric circuit. As a result, there was an increase of power density in the voltage variation by 47-67% (compared with power density without fan) which rose from 45.16 mW/cm² to about 70 mW/cm². The highest power was achieved from 3 volt of fan voltage (73.26 mW/cm²). From the variation of hydrogen flow rates, dead point, which was caused by unbalance stoikiometri between hydrogen and oxygen, was introduced at low flow rate (20-40 mL/minute) and the optimum power (79 mW/cm²) was the result of 50 mL/minute of hydrogen flow rate. Based on polarisation curve fitting, increasing hydrogen flow rate caused increased in activation over potential activation but decreased in diffusion over potential which were results of hydrogen crossover and membrane dehydration. Meanwhile, the ohmic over potential remained constant for all hydrogen flow rate.

Keywords: PEMFC, Open cathode, Polarisation curve fitting

PENDAHULUAN

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) tipe katoda terbuka atau *open cathode*, merupakan pengembangan *PEMFC* menuju komersialisasi. Kelebihan dari sistem ini antara lain

mampu memenuhi kebutuhan oksigen langsung dari udara dengan sistem konveksi. Dengan demikian, konsumsi tenaga untuk mengalirkan oksigen dapat dikurangi sehingga sistem ini lebih murah dan ringan[1].

Meskipun demikian, karena terhubung langsung dengan udara, kondisi operasional sangat mempengaruhi sistem kerja *open cathode*, seperti sistem pengatur suhu dan kelembaban yang terhubung langsung dengan lingkungan dan dapat mempengaruhi kecepatan laju reaksi dan konduktivitas ionik membran [1-3]. Pengaruh laju alir udara (oksigen) yang diperoleh melalui sistem konveksi alami juga akan berpengaruh terhadap produksi dan distribusi arus [4].

Pada penelitian sebelumnya, untuk mengatasi masalah yang timbul pada sistem *open cathode*, maka bagian sistem katoda dipasang kipas untuk memperlancar aliran oksigen dan sekaligus sebagai pendingin *stack*, *filter* sebagai penyaring udara dan pengatur kelembaban [2,5]. Selain itu, pada sistem *open cathode*, pengaruh laju hidrogen perlu dioptimasi agar diperoleh kesetimbangan stoikiometri dan menghindari adanya *drop* arus (*dead point*), meskipun pada sistem ini tekanan hidrogen dalam *stack* mampu terjaga relatif konstan [1].

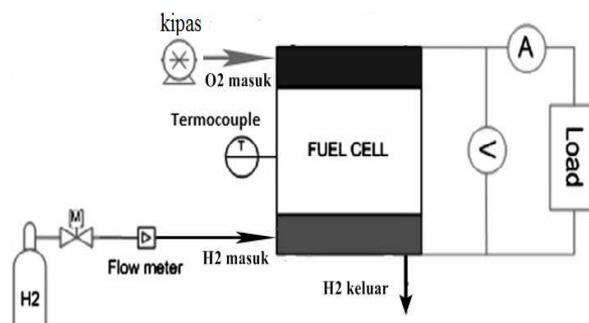
Untuk mengetahui kinerja *PEMFC*, biasanya digunakan kurva polarisasi yaitu kurva yang memperlihatkan hubungan antara potensial yang dihasilkan (V) dengan rapat arus (J). Pada saat beroperasi, nilai potensial pada saat rangkaian terbuka ($J=0$) selalu diperoleh lebih rendah dari potensial secara teori (1,23 Volt).

Penurunan potensial atau overpotensial ini disebabkan oleh tiga faktor utama antara lain, overpotensial aktivasi yang dominan pada rapat arus rendah yang menggambarkan faktor kinetika reaksi pada elektroda. Selain itu terdapat overpotensial ohmik yang muncul akibat adanya hambatan aliran proton dalam membran dan elektron pada rangkaian *PEMFC* yang terlihat jelas pada rapat arus menengah, dan overpotensial difusi yang diakibatkan terbatasnya transfer masa (*mass transfer losses*) yang dominan pada rapat arus tinggi. Untuk mengetahui parameter yang mewakili setiap komponen overpotensial, pada umumnya digunakan metode *fitting* data kurva polarisasi [6-10]. Parameter-parameter yang diperoleh dari hasil *fitting* tersebut kemudian dapat digunakan sebagai estimasi dasar untuk meningkatkan kinerja *PEMFC* melalui optimasi desain, sistem kontrol dan parameter operasional.

Dalam tulisan ini akan dibahas pengaruh variasi tegangan kipas dan laju alir hidrogen terhadap rapat daya *PEMFC open cathode*. Selain itu, dibahas pula hubungan antara overpotensial aktivasi, ohmik, dan difusi terhadap variasi laju alir hidrogen yang diperoleh dari hasil *fitting* kurva polarisasi melalui pendekatan persamaan empiris.

METODE PERCOBAAN

Pada percobaan ini digunakan *stack* Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (*PEMFC*) komersial



Gambar 1. Desain pengujian kinerja *PEMFC open cathode*.

tipe *open cathode* dari Gashub yang terdiri atas dua sel dengan luas aktif 30 cm^2 . *Stack* dioperasikan pada suhu ruang ($\pm 24^\circ\text{C}$) dengan gas hidrogen murni (99,9%) tanpa kelembaban eksternal. Pengaruh penambahan kipas pada kinerja *PEMFC* dilakukan melalui variasi tegangan kipas sebesar 3 Volt, 6 Volt, dan 12 Volt yang diperoleh dari sumber listrik eksternal dengan laju alir hidrogen sebesar 80 mL/menit. Kemudian, hasil yang diperoleh dibandingkan dengan rapat daya saat tanpa kipas.

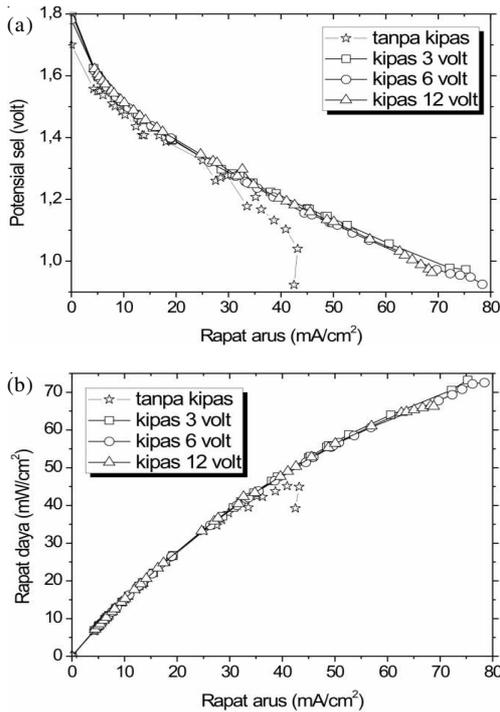
Untuk mengetahui hubungan laju aliran hidrogen terhadap kinerja *PEMFC*, dilakukan variasi laju alir hidrogen sebesar 20 mL/menit, 30 mL/menit, 40 mL/menit, 50 mL/menit, 75 mL/menit, dan 100 mL/menit. Pengukuran laju alir hidrogen digunakan *flowmeter* Aalborg GFM17. Pengukuran potensial dan rapat arus digunakan multimeter GW model GDM-8145 dan Sanwa CD771. Selama pengujian perubahan suhu *stack* *PEMFC* diukur dengan termokopel. Detail pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kipas pada Kinerja *PEMFC Open Cathode*

Penggunaan kipas ternyata dapat meningkatkan kinerja dan stabilitas *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) open cathode* (Gambar 2(a) dan Gambar 2(b)). Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa kinerja *PEMFC* tanpa menggunakan kipas terlihat tidak stabil, terjadi drop potensial pada 30 mA/cm^2 dan hanya mampu beroperasi pada rapat arus maksimum sekitar 40 mA/cm^2 . Hal ini disebabkan oleh suplai oksigen yang lebih sedikit dibandingkan kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menghasilkan rapat arus yang besar sehingga menyebabkan semakin tingginya hambatan difusi oksigen. Tingginya hambatan difusi ini terlihat jelas dari kurva potensial tanpa kipas yang menurun tajam setelah rapat arus 40 mA/cm^2 .

Selanjutnya, dari Gambar 2(b), penggunaan kipas mampu meningkatkan rapat daya sekitar 47% hingga 67%, dimana rapat daya tanpa kipas sebesar $45,16 \text{ mW/cm}^2$ meningkat menjadi 73 mW/cm^2 , 26 mW/cm^2 ; $72,56 \text{ mW/cm}^2$ dan $66,22 \text{ mW/cm}^2$ pada

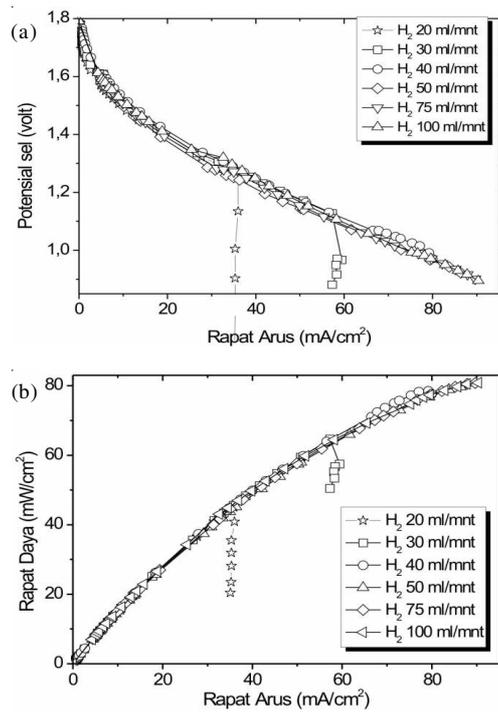


Gambar 2. Pengaruh penggunaan kipas terhadap kinerja PEMFC open cathode (a). kurva polarisasi (b). kurva rapat daya.

masing-masing tegangan kipas 3 Volt, 6 Volt, dan 12 Volt. Hasil ini juga menunjukkan bahwa kenaikan tegangan kipas (3 Volt hingga 12 Volt) tidak mempengaruhi kinerja PEMFC secara signifikan. Bahkan, untuk tegangan kipas 12 Volt, diperoleh rapat daya yang lebih kecil dibandingkan dengan rapat daya pada tegangan kipas 3 Volt. Penurunan rapat daya pada tegangan kipas 12 Volt ini kemungkinan disebabkan oleh bekerja maksimumnya sistem pendingin pada tegangan 12 Volt yang menyebabkan PEMFC beroperasi pada suhu rendah yang dapat berakibat menurunnya kecepatan reaksi dan dari hasil yang diperoleh sebelumnya penurunan suhu operasional PEMFC juga berakibat menurunnya konduktifitas ionik dari membran, bahkan hingga sepuluh kali lipat [3,11]. Selain itu, menurunnya rapat daya pada tegangan kipas 12 Volt juga disebabkan oleh kelebihan suplai oksigen secara stoikiometri [2]. Dengan demikian, tegangan kipas yang terlalu tinggi juga dapat mengurangi efisiensi PEMFC.

Variasi Laju Alir Gas Hidrogen

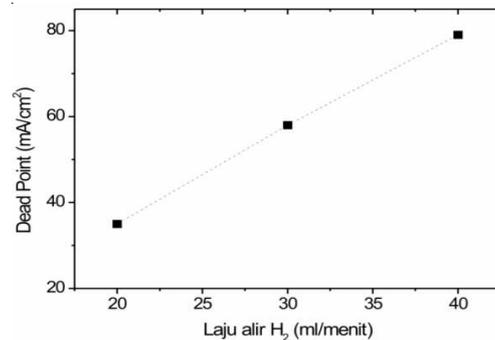
Untuk mengetahui pengaruh variasi laju alir hidrogen terhadap rapat daya yang dihasilkan, digunakan tegangan kipas 3 Volt. Kurva polarisasi dan rapat daya dengan variasi laju alir hidrogen 20 mL/menit, 30 mL/menit, 40 mL/menit, 50 mL/menit, 75 mL/menit, dan 100 mL/menit ditunjukkan pada Gambar 3(a) dan Gambar 3(b). Seperti halnya variasi tegangan kipas yang berdampak pada variasi laju alir udara, variasi laju alir hidrogen ternyata tidak begitu mempengaruhi kinerja



Gambar 3. Pengaruh variasi laju alir gas hidrogen terhadap kinerja PEMFC open cathode untuk (a). kurva polarisasi, dan (b). rapat daya.

PEMFC. Hasil ini sama dengan kesimpulan yang diperoleh peneliti sebelumnya [1], bahwa pada sistem open cathode, tekanan hidrogen dalam stack mampu terjaga relatif konstan meskipun laju alir hidrogen divariasikan [1]. Akan tetapi, pada laju alir hidrogen rendah, 20 mL/menit hingga 40 mL/menit, diperoleh adanya dead point pada 35,9 mA/cm²; 58,3 mA/cm² dan 79,2 mA/cm² dengan rapat daya masing-masing sebesar 45,03 mW/cm²; 64,63mW/cm² dan 78,53 mW/cm². Dead point ini muncul akibat ketidakseimbangan stoikiometri dari hidrogen dengan oksigen sehingga pada titik tertentu PEMFC akan kehabisan gas reaktan yang mengakibatkan potensial sel turun drastis menuju nol dan rapat arus tidak dapat ditingkatkan lagi.

Hubungan antara dead point dengan laju alir hidrogen dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa dead point memiliki hubungan



Gambar 4. Kurva hubungan antara dead point dengan laju alir gas hidrogen.

linier dengan laju alir hidrogen. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir hidrogen akan menambah keseimbangan stoikiometri antara gas hidrogen dan oksigen. Pada laju alir hidrogen 50 mL/menit, tidak ada *dead point*, artinya *stack PEMFC open cathode* dapat beroperasi optimal dengan rapat daya sebesar 79 mW/cm².

Karakteristik Kurva Polarisasi Fuel Cell

Untuk mengetahui pengaruh laju alir hidrogen terhadap reaksi yang terjadi dalam *stack PEMFC* dilakukan *fitting* kurva polarisasi menggunakan persamaan empiris seperti Persamaan (1):

$$N_c V = N_c E_{oc} - N_c a \ln(j) - N_c r j - N_c m \exp(nj) \dots\dots (1)$$

Dimana:

- V = Potensial output (Volt)
- J = Rapat arus (mA/cm²)
- E_{oc} = Potensial saat sambungan terbuka ($J=0$),
- a = Koefisien tafel (Volt) yang mewakili overpotensial aktivasi
- r = Hambatan area spesifik (kΩ.cm²) yang mewakili overpotensial ohmik
- m = (Volt)
- n = (cm².mA⁻¹) adalah parameter yang mewakili overpotensial difusi
- N_c = Jumlah sel dalam satu *stack*

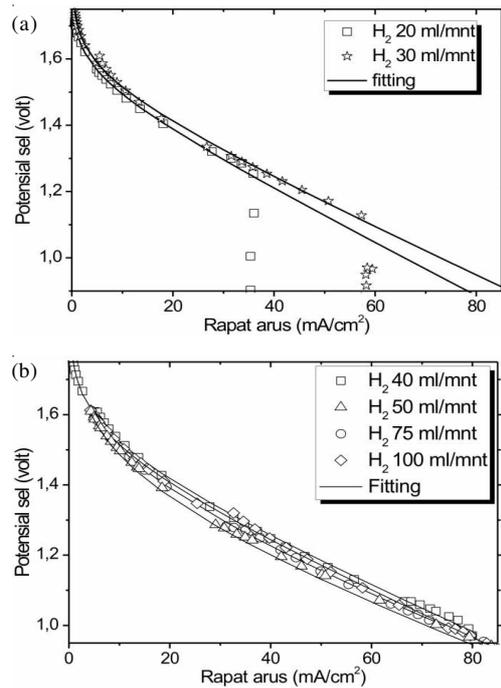
Persamaan (1) digunakan untuk *fitting* kurva polarisasi dengan memasukan nilai n sebesar 0,008 cm²/mA [9,12] dan nilai parameter untuk tiap sel diperoleh dari hasil rata-rata nilai satu *stack*.

Hasil *fitting* dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai $\Sigma(a)$ yang mewakili overpotensial aktivasi meningkat dengan bertambahnya laju alir hidrogen pada daerah dibawah 50 mL/menit. Kenaikan $\Sigma(a)$ ini mungkin dikarenakan adanya kenaikan jumlah hidrogen *crossover*. Untuk rapat arus rendah, jumlah hidrogen yang digunakan masih sedikit sehingga jika laju alir hidrogen dinaikan maka akan menambah gaya dorong reaktan untuk *crossover*. Untuk laju alir 75 mL/menit dan 100 mL/menit, $\Sigma(a)$ kembali menurun, hal ini masih perlu dijelaskan lebih lanjut.

Untuk parameter $\Sigma(r)$ yang mewakili overpotensial ohmik, perubahannya relatif kecil terhadap peningkatan laju alir hidrogen. Overpotensial difusi

Tabel 1. Parameter hasil *fitting* kurva polarisasi.

Flowrate H ₂ (ml/mnt)	Satu <i>stack</i>			Satu sel		
	$\Sigma(a)$ (volt)	$\Sigma(r)$ (kΩ.cm ²)	$\Sigma(m)$ (volt)	a (volt)	r (kΩ.cm ²)	m (volt)
20	0,0544	0,0062	0,0708	0,0272	0,0031	0,0354
30	0,0598	0,0058	0,0456	0,0299	0,0029	0,0228
40	0,0724	0,0054	0,024	0,0362	0,0027	0,0120
50	0,1096	0,0044	0,0042	0,0548	0,0022	0,0021
75	0,0976	0,0048	0,0024	0,0488	0,0024	0,0012
100	0,0770	0,0050	0,0448	0,0385	0,0025	0,0224



Gambar 5. Kurva polarisasi hasil *fitting* dan percobaan untuk (a). laju alir hidrogen 20 mL/menit dan 30 mL/menit, (b). Laju alir 40 mL/menit hingga 100 mL/menit.

mengalami kenaikan laju alir hydrogen dari 20 mL/menit hingga 75 mL/menit. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya *gradien* konsentrasi gas reaktan pada rapat arus tinggi (suplai hidrogen mampu mengimbangi overpotensial difusi). Akan tetapi, pada laju alir 100 mL/menit, nilai $\Sigma(m)$ kembali meningkat. Anomali tersebut dikarenakan pada rapat arus tinggi, kenaikan laju alir hidrogen akan diimbangi dengan kenaikan jumlah proton yang diproduksi, tetapi kenaikan ini tidak diimbangi dengan penambahan gugus air dalam membran sehingga menyebabkan terbatasnya daya hantar proton atau munculnya batasan transport muatan. Semakin berkurangnya waktu yang tersedia untuk bereaksi pada laju alir hidrogen tinggi juga bisa menjadi penyebab meningkatnya $\Sigma(m)$ pada laju alir 100 mL/menit.

Selain itu, karena *PEMFC* menggunakan hidrogen kering, pada laju alir hidrogen terlalu tinggi, sistem *self humidifier* yang menggunakan hasil reaksi sebagai sumber kelembaban tidak mampu bekerja dengan optimum, artinya membran mengalami dehidrasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa pada laju alir hidrogen tinggi, hanya sebagian gas hidrogen yang dapat kelembabkan [2].

Nilai parameter pada Tabel 1 digunakan untuk mendapatkan kurva polarisasi hasil *fitting*, yang dapat dilihat pada Gambar 5(a) dan Gambar (5b) berupa garis dan untuk data percobaan terlihat berupa simbol. Pada Gambar 5(a), hasil *fitting* untuk laju alir hidrogen 20 mL/menit dan 30 mL/menit berhimpit dengan hasil percobaan pada daerah rapat arus sebelum *dead point*. Sedangkan untuk laju alir hidrogen 40 mL/menit hingga

100 mL/menit (Gambar 5(b)), secara keseluruhan kurva hasil *fitting* dan hasil percobaan berhimpit pada semua jangkauan pengukuran.

KESIMPULAN

Penggunaan kipas memberikan pengaruh yang cukup besar pada peningkatan rapat daya *PEMFC open cathode* sebesar 47 % hingga 67 %. Peningkatan dari 45,16 mW/cm² (tanpa kipas) menjadi sekitar 70 mW/cm² untuk ketiga variasi tegangan kipas (3 Volt hingga 12 Volt). Dari variasi laju alir hidrogen (20 mL/menit hingga 100 mL/menit) diperoleh adanya *dead point* untuk laju alir hidrogen dibawah 50 mL/menit. Berdasarkan hasil *fitting* kurva polarisasi pada variasi laju alir hidrogen, overpotensial aktivasi mengalami kenaikan untuk laju alir 20 mL/menit hingga 50 mL/menit akibat meningkatnya hidrogen *crossover*. Pengaruh *self humidifier* merupakan faktor utama overpotensial difusi, dimana terlihat menurun pada laju alir hidrogen 20 mL/menit hingga 75 mL/menit dan naik kembali pada 100 mL/menit. Sedangkan untuk overpotensial ohmik tidak terlihat adanya perubahan yang signifikan terhadap variasi laju alir hidrogen. Secara keseluruhan, *stack PEMFC open cathode* bekerja optimal pada laju alir hidrogen sekitar 50 mL/menit dan tegangan kipas 3 Volt.

DAFTAR ACUAN

- [1]. CHU, D. and JIANG, R., *Journal of Power Sources*, **83** (1999) 128-133
- [2]. ROSA, D.T.S., PINTOA, D.G., SILVAA, V.S., SILVAB, R.A., RANGELB, C.M., *International Journal of Hydrogen Energy*, **32** (2007) 4350-4357
- [3]. SANTARELLI, M.G. and M.F. TORCHIO, *Energy Conversion and Management*, **48** (2007) 40-51
- [4]. MATTI, N., T. MENNOLA, M. MIKKOLA, T. HOTTINEN, P. LUND, *Journal of Power Sources*, **160** (2002) 304-312
- [5]. SASMITO, A.P., E. BIRGERSSON, K.W. LUM, A.S. MUJUMDAR, *Renewable Energy*, **37** (2012) 325-332
- [6]. FRASER, S.D. and HACKER, V., *Journal of Applied Electrochemistry*, **38** (2008) 451-456
- [7]. HAJI, S., *Renewable Energy*, **36** (2011) 451-458
- [8]. YU, D. and YUVARAJAN, S., *Journal of Power Sources*, **142** (2005) 238-242
- [9]. KIM, J. LEE, S.M., SRINIVASAN, S., CHAMBERLIN, C.E., *Journal of The Electrochemical Society*, **142**(8) (1995)
- [10]. YANG T.H., G PARK, P. PUGAZHENDHI, S.Y. LEE, C.S. KIM, *Korean J. Chem. Eng.*, **9** (3) (2002) 417-420
- [11]. RIKUKAWA, M. and SANUI K., *Progress in Polymer Science*, **25** (10) (2000) 1463-1502
- [12]. FRANO, BARBIER., *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*. Elsevier, (2005)