
PENGEMBANGAN PROTOTIPE *DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)* DAN PENGARUH KANDUNGAN *NAFION MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)*

Widodo W. Purwanto, Slamet, Martin Rifki, Isye Hayatina,
Tiurma Theresa, Priyo Priyanggoro, R.S. Pattyranie
Sustainable Energy Research Group, Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424, Indonesia
Telp: 021-7863516, Fax: 021-7863515, e-mail: widodo@che.ui.edu

Verina J.W.D

P3TEK: Pusat Penelitian dan Pengembangan Energi dan Ketenagalistrikan
Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Cipulir, Jakarta Selatan

Siti Rochani

Tekmira, Pusat Penelitian dan Pengembangan Mineral dan Batubara, Departemen Energi dan
Sumber Daya Mineral, Bandung

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah prototipe DMFC dengan cell stack berbahan grafit dan aluminium serta fabrikasi MEA dengan variasi kandungan Nafion. Cell stack memiliki luas aktif $6,5 \text{ cm}^2$ dengan flowfield bertipe single serpentine. MEA difabrikasi menggunakan membran Nafion 117 (DuPont), lapisan difusi gas carbon cloth dan katalis komersial E-Tek, Pt/C untuk katoda dan Pt-Ru/C untuk anoda. Kandungan katalis adalah 3 dan 4 mgPt-Ru/cm² pada sisi anoda dan 3 mg/cm² pada sisi katoda. Kandungan Nafion yang digunakan adalah 20 dan 40 % berat. Fabrikasi MEA dilakukan dengan metode brush coating dan hot pressing. Uji kinerja DMFC dilakukan pada suhu 70°C dengan menggunakan bahan bakar metanol 2M dan udara sebagai oksidan. Hasil uji kinerja DMFC sel tunggal didapatkan potensial sel 600-750 mV, densitas arus 100-150 mW/cm², serta densitas energi maksimum 19 mW/cm². MEA dengan kandungan Nafion 40 % berat memiliki kinerja yang lebih baik dengan densitas energi 19 mW/cm² dibandingkan dengan Nafion 20 % berat sebesar 6 mW/cm². Kenaikan loading katalis anoda dari 3 menjadi 4 mgPt-Ru/cm² dapat meningkatkan densitas energi dari 16 mW/cm² menjadi 18 mW/cm².

Kata kunci: Direct Methanol Fuel Cell, Cel stack, MEA, kandungan Nafion.

Abstract

The purposes of this research are designing the prototype of DMFC, consist of graphite and aluminium cell stacks and MEA with difference Nafion content. Cell stack has active area of 6.5 cm^2 and single serpentine flowfield. MEAs were fabricated using Nafion membrane 117 (DuPont), gas diffusion layer (GDL) carbon cloth, and commercial catalysts E-Tek, Pt/C for the cathode side and Pt-Ru/C for the anode. Catalysts loading on the anode are 3 and 4 mgPt-Ru/cm² and on the cathode is 3 mg/cm². Dry Nafion content of 20 %-wt and 40 %-wt were used in this experiment. MEA fabrication was done by brush coating and hot pressing. Single cell test conducted to evaluate the performance of DMFC at 70°C with 2M methanol as fuel and air as the oxidant. The results of single cell test showed that cell voltage of 600-750 mV, current density of 100-150 mW/cm², with maximum power density of 19 mW/cm² were achieved. MEA with 40 wt% Nafion content showed the better performance than 20 %-wt with power density 19 mW/cm² and 6 mW/cm², respectively. Increasing the catalyst loading from 3 to 4 mgPt-Ru/cm² improved the power density from 16 to 18 mW/cm².

Keywords: Direct Methanol Fuel Cell, Cel stack, MEA, Nafion content.

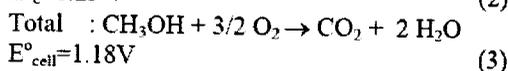
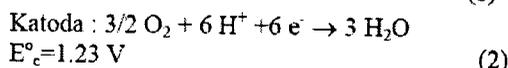
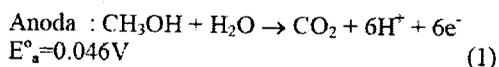
1. Pendahuluan

Perkembangan konversi energi kimia menjadi energi listrik secara langsung melalui teknologi elektrokimia *fuel cell* merupakan alternatif yang menjanjikan dan menarik dibanding sistem konversi energi berdasarkan siklus termodinamika yang melibatkan pembakaran dan saat ini mendapatkan perhatian yang sangat intensif pada beberapa tahun terakhir. Hal ini dikarenakan efisiensinya yang tinggi. Proses ini tidak melibatkan konversi dari energi panas menjadi energi mekanis seperti halnya mesin-mesin dengan pembakaran internal (*Internal Combustion Engine, ICE*), Thomas (1999). Selain itu, *fuel cell* memiliki efisiensi energi teoritis yang tinggi sebesar 96,7% dan menghasilkan emisi hampir nihil, Lamy (2002), Biswa (2005).

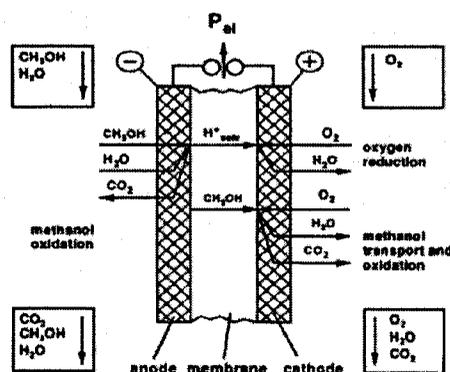
Fuel cell *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM) terdiri dari *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang berbahan bakar hidrogen dan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) yang berbahan bakar metanol yang dapat beroperasi pada suhu yang rendah (30 – 130°C), Lamy (2002), dan metanol mudah disimpan/ditransportasikan, harganya murah, serta densitas energi yang lebih tinggi (6 kWh/kg) dibanding bensin (10-11 kWh/kg), Thomas (1999). Dengan kelebihan-kelebihan tersebut, maka pengembangan akan teknologi DMFC perlu dilakukan guna menjamin ketahanan pasokan energi nasional yang kebutuhannya saat ini cenderung meningkat disaat berkurangnya sumber-sumber energi konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah prototipe DMFC kemudian melakukan uji kinerja sel tunggal serta membandingkan kinerja MEA yang telah difabrikasi menggunakan katalis komersial..

2. Fundamental

DMFC merupakan alat konversi energi secara elektrokimia. DMFC terdiri dari pasangan elektroda (anoda dan katoda) yang dipisahkan oleh membran elektrolit. Reaksi yang terjadi dalam DMFC adalah sebagai berikut:



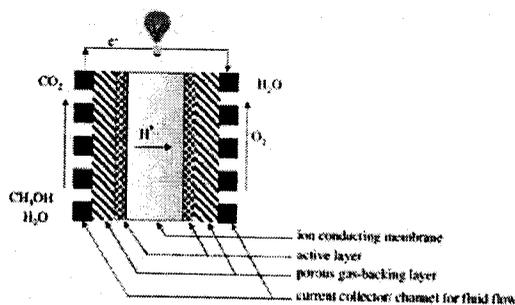
Skema DMFC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema DMFC

DMFC menggunakan metanol sebagai bahan bakar yang akan dioksidasi pada sisi anoda dan oksigen atau udara sebagai oksidan yang akan direduksi pada sisi katoda (persamaan 1-3). Elektron yang dihasilkan pada sisi anoda kemudian dipisahkan dari ion hidrogen (H^+) menggunakan membran elektrolit selektif yang permeabel terhadap muatan positif. Selanjutnya elektron dialirkan melalui rangkaian eksternal untuk menghasilkan energi listrik. Molekul oksigen akan bergabung dengan ion H^+ dan elektron membentuk molekul air (persamaan 2) yang kemudian dikeluarkan dari sisi katoda sebagai produk samping sel.

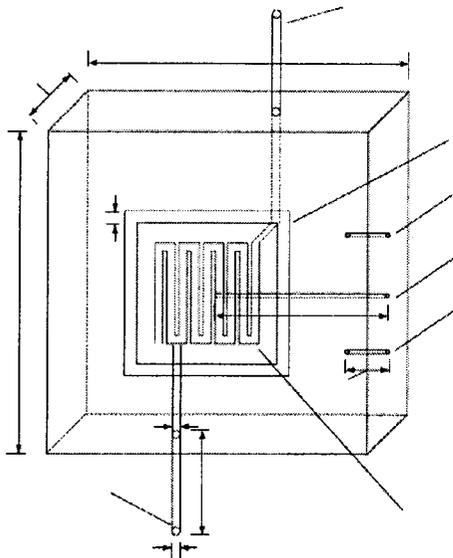
Sel tunggal DMFC merupakan susunan dari beberapa plate (cell stack) yang terdiri atas beberapa bagian (Gambar.2), yaitu bipolar plate, *Membrane Electrolyte Assembly* (MEA), dan end plate. Bipolar plate berfungsi sebagai pengumpul arus (current collector) dan lajur aliran (flowfield) sebagai tempat mengalirnya reaktan sedangkan end plate berfungsi untuk menjepit cell stack. MEA terbagi menjadi 2 macam, yaitu MEA dengan 3 lapisan dan MEA 5 lapis tersusun atas lapisan difusi gas (gas diffusion layer)-katalis anoda-membran-katalis katoda-lapisan difusi gas. MEA 3 lapis tidak menggunakan lapisan difusi gas, Dohle (2000), Nordlund (2003).



Gambar 2. Susunan sel tunggal DMFC

3. Metodologi

Desain terdiri atas bipolar plate, end plate, seal, isolator listrik.



Gambar 3. Desain bipolar plate

Keterangan gambar 3:

1. Lubang masuk umpan
2. Lubang keluaran hasil reaksi
3. Rumah seal
4. Lubang pengambilan arus DMFC
5. Lubang untuk termokopel
6. Lajur aliran (flowfield) atau active area

Bipolar plate terbuat dari bahan grafit sedangkan end plate berbahan aluminium. Luas aktif tepat berada di tengah-tengah bipolar plate dengan luasan $6,5 \text{ cm}^2$. Tipe *flowfield* yang digunakan adalah *single serpentine flow* (SSF) channel. Flowfield memiliki lebar saluran 2 mm, jarak antar saluran 1 mm dan kedalaman 1 mm. Pemanas (*heater*) diletakkan tepat ditengah bipolar plate.

Fabrikasi MEA dibagi menjadi empat tahapan, yaitu pembuatan tinta katalis, pelapisan katalis pada lapisan difusi gas (GDL), perlakuan awal membran, dan hot pressing MEA. MEA yang difabrikasi sebanyak tiga buah, yaitu MEA dengan loading katalis anoda 3 mgPt-Ru/cm^2 dan 4 mgPt-Ru/cm^2 . Selain itu dibuat pula MEA

dengan komposisi ionomer Nafion 20 dan 40 % berat. Keseluruhan MEA memiliki loading katalis katoda sebesar 3 mgPt-Ru/cm^2 .

Katalis yang digunakan adalah katalis komersial dari E-Tek, yaitu 60 %-berat Pt-Ru on optimized carbon untuk anoda dan 60 %-berat Pt on Vulcan XC-72R untuk katoda. Pembuatan tinta katalis dilakukan dengan mencampurkan katalis dengan air demin. Setelah itu, larutan Nafion dari DuPont dimasukkan ke dalam campuran dengan komposisi 20-40% berat ionomer Nafion terhadap katalis kering. Kemudian dilakukan pengadukan dalam ultrasonic bath dingin selama 10 menit. Larutan katalis kemudian dilapiskan pada permukaan GDL dengan jenis *carbon cloth* menggunakan teknik *brush coating* secara bertahap dengan diberi pemanasan setiap kali dilakukan penguasan. Pelapisan dilakukan untuk kedua sisi, anoda dan katoda. Katalis yang telah dilapiskan dan GDL disebut sebagai elektroda.

Membran elektrolit Nafion 117 dari DuPont. diberikan perlakuan awal dengan H_2O_2 3%-berat selama 1-2 jam pada suhu $60-70^\circ\text{C}$. Kemudian dicuci dengan air demin. Setelah itu memanaskan membran dalam air demin selama 1-2 jam pada suhu $60-70^\circ\text{C}$. Kemudian dilakukan pencucian kembali dan dikeringkan pada suhu ruang.

Kedua elektroda yang telah terbentuk (anoda dan katoda) kemudian digabungkan dengan membran yang telah diberikan perlakuan awal melalui hot press pada tekanan $8-10 \text{ kg/cm}^2$ untuk membentuk MEA.

Karakterisasi MEA dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui profil melintang susunan lapisan-lapisan MEA.

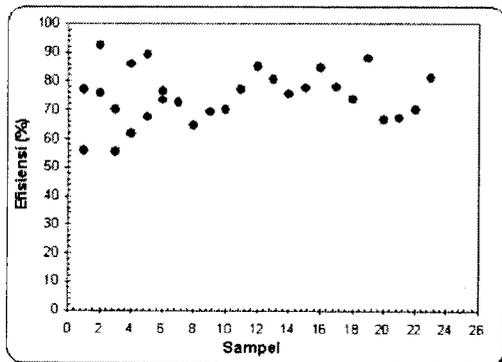
MEA yang telah dibuat kemudian di susun dalam *cell stack*. Uji sel tunggal kemudian dilakukan dengan menggunakan fasilitas pengujian yang dilengkapi dengan DC Electronic Load. Digunakan laju alir methanol 2M sebesar 0,3-1 ml/menit dan laju alir udara 0,3 L/menit. Suhu operasi $30-90^\circ\text{C}$ pada tekanan atmosferik.

4. Hasil dan Analisis

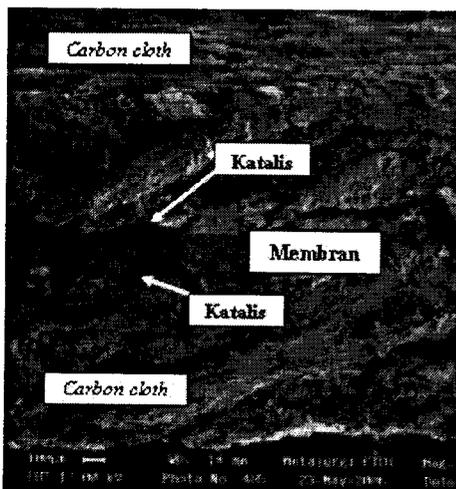
Cell stack yang dihasilkan dan telah dirangkai menjadi suatu susunan tunggal dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Cell Stack



Gambar 5. Efisiensi penguasaan katalis

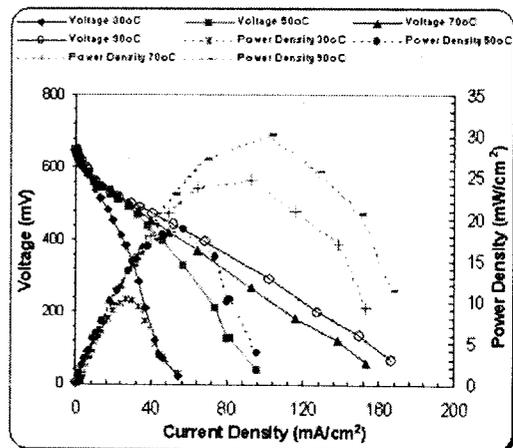


Gambar 6. Profil susunan lapisan MEA

MEA yang terbentuk memiliki ketebalan rata-rata kurang dari 2 mm. Pada gambar 6 terlihat pelapisan katalis pada permukaan GDL memiliki pola penambahan berat katalis secara logaritmik dan efisiensi rata-rata banyaknya katalis yang terkuaskan sebesar 70%.

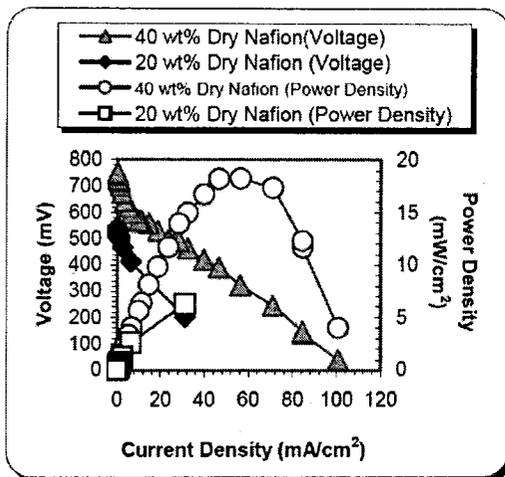
Karakterisasi MEA menunjukkan bahwa lapisan-lapisan MEA yang terbentuk masih terdapat rongga antara elektroda dengan membran (lihat gambar 7). Adanya rongga antara lapisan elektroda dan membran kemungkinan dikarenakan penguasaan katalis yang belum merata di permukaan GDL sehingga ketebalan lapisan katalis bervariasi yang menyebabkan penekanan MEA tidak merata.

Kenaikan suhu operasi DMFC dapat meningkatkan kinerja DMFC. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan semakin besarnya suhu akan menyebabkan laju reaksi semakin cepat.

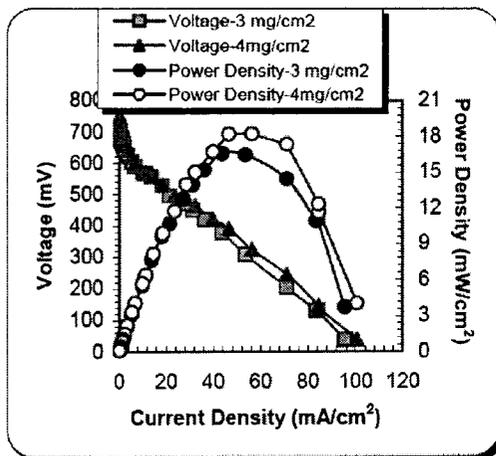


Gambar 7. Pengaruh Suhu Operasi

Kenaikan kinerja DMFC pada rentang 30-70°C mengalami peningkatan yang sangat besar. Hal ini sedikit berbeda dengan peningkatan kinerja dari rentang 70-90°C yang tidak terlalu besar. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya suhu operasi, maka peristiwa *fuel crossover* (dalam hal ini metanol) semakin meningkat pula. Semakin mudahnya larutan metanol berdifusi menembus membran maka akan semakin banyak metanol menuju katoda yang mengakibatkan berkurangnya efisiensi reaksi reduksi di katoda yang disebabkan oleh pengaruh *mixed potential*. Disamping itu metanol pada sisi katoda menyebabkan katoda terbasahi sehingga difusi gas ke katalis terhambat, peristiwa ini disebut *mass transport loss*.



Gambar 8. Pengaruh Kandungan Nafion



Gambar 9. Pengaruh Loading Katalis Anoda

Dari gambar 9 terlihat bahwa, MEA dengan kandungan Nafion yang lebih besar (40 %-berat) memiliki kinerja yang lebih dibanding 20%. Perbedaan aktivitas kedua MEA terlihat sekali pada sisi densitas arus yang dihasilkan, dimana MEA dengan Nafion 40 %-berat menghasilkan densitas arus mencapai 100 mA/cm², tiga kali lebih besar daripada MEA Nafion 20 %-berat, 30 mA/cm² demikian juga dengan densitas energi dimana MEA dengan kandungan Nafion 40 %-berat menghasilkan densitas energi maksimum tiga kali lebih besar, yaitu sebesar 19 mW/cm² sedangkan kandungan Nafion 20 %-berat sebesar 6 mW/cm².

Kecilnya densitas energi yang dihasilkan pada kandungan Nafion yang rendah disebabkan oleh tidak sempurnanya katalis menempel pada MEA, baik pada sisi *carbon cloth* (GDL) maupun membran. Pada suhu sekitar 130-150°C (Salamone, 1999 dan Lindermeir, 2004), Nafion yang merupakan salah satu jenis polimer membentuk *crosslink*

(jaringan ikat) dan suhu ini merupakan suhu *transition glass* dari Nafion. Oleh karena itu, dengan semakin sedikitnya kandungan Nafion, maka ikatan jaringan yang terbentuk akan semakin sedikit yang menyebabkan migrasi proton terhambat, karena Nafion berfungsi sebagai elektrolit.

Sebaliknya, MEA dengan kandungan Nafion 40 %-berat, memiliki kinerja yang baik karena cukup meratanya *crosslink* yang terbentuk antara *carbon cloth*-katalis-membran.

Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan kinerja DMFC bila loading anoda dinaikkan. Hal ini disebabkan dengan semakin banyaknya katalis yang berarti aktivitas reaksinya juga meningkat.

Walupun terjadi peningkatan, namun bila diperhatikan lebih lanjut, dari grafik tersebut diketahui bahwa penambahan loading anoda dari 3 menjadi 4 tidak memberikan penambahan kinerja yang cukup signifikan. Fenomena ini disebabkan oleh masih kecilnya laju alir reaktan sehingga penambahan loading tidak serta merta diikuti dengan penambahan reaktan yang bereaksi.

5. Kesimpulan

Cell stack DMFC menghasilkan potensial sel 600-750 mV, densitas arus 100-150 mA/cm², serta densitas energi maksimum 19 mW/cm². Kenaikan suhu operasi DMFC meningkatkan kinerja DMFC. Kandungan Nafion 40 %-berat dalam fabrikasi MEA menghasilkan kinerja DMFC yang lebih baik dibandingkan dengan kandungan Nafion 20 %-berat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) atas pendanaan penelitian ini melalui Riset Unggulan Terpadu (RUT XII).

Daftar Pustaka

- [1] Thomas, S. et al, (1999), "Fuel Cell-Green Power, Los Alamos National Laboratory," (www.education.lanl.gov/resources/fuelcells/)
- [2] Lamy, C., et.al., (2002), "Recent Advances in the Development of Direct Alcohol Fuel Cells (DAFC)," *J. Power Sources* 105, 2:283-296
- [3] Biswa, R.P., Reddy, R.G., (2005), "Performance of DMFC with SS 316 Bipolar/end Plates," *J. Power Sources*. 153: 125-129.

- [4] Dohle, H., J. Divisek, dan R. Jung, (2000), "Process Engineering of the Direct Methanol Fuel Cell," *J. Power Sources* 86: 469-477.
- [5] Nordlund, Joakim, (2003), "The Anode in the Direct Methanol Fuel Cell," *Doctoral Thesis*, KTH-Chemical Engineering and Technology, Stockholm.
- [6] Salamone, J.C., (1999), "Concise Polymeric Materials Encyclopedia," Editor in Chief, CRC Press: Florida.
- [7] Lindermeir, A., Rosenthal, G., Kunz, U., (2004), "On the Question of MEA Preparation for DMFCs," *J. Power Sources* 129, 180-187.