



Aplikasi Metoda *Loading Katalis Secara Painting Dan Screen Printing Pada Mea Dalam Pembuatan Sel Bahan Bakar Hidrogen (Hydrogen Fuel Cell)*

Riniati*, Mentik Hulupi*, Rianda Anggraini*, Sri Suminar Dewi*

*Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

e-mail: riniati.wahib@yahoo.com

Abstrak

Fuel cell merupakan salah satu teknologi penghasil listrik yang memanfaatkan sumber energi alternatif terbarukan dan banyak dikembangkan saat ini, salah satunya adalah *Hydrogen Fuel Cell* (HFC). Gas hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar HFC masuk ke dalam sistem *fuel cell* di sisi anoda membentuk proton dan elektron, sedangkan oksigen yang berasal dari udara bebas masuk ke sisi katoda. Komponen penyusun satu *stack* HFC terdiri dari *end plate*, *current collector*, dan MEA (*Membran Electrode Assembly*). MEA merupakan komponen terpenting pada HFC karena sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi gas hidrogen dan reduksi oksigen sehingga menghasilkan arus dan tegangan listrik. MEA berukuran 3 x 3 cm dibentuk dengan cara *hot pressing* membran dan *carbon paper* yang telah dilapisi (*loading*) katalis. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja HFC adalah pemilihan jenis metoda *loading* katalis pada MEA. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan dua metoda *loading* katalis secara *painting* dan *screen printing* pada MEA dalam pembuatan sel bahan bakar hidrogen. Pada penelitian ini telah dibuat 2 (dua) buah *stack* HFC dengan metoda *loading* katalis secara *painting* dan *screen printing*. Karakterisasi terhadap MEA yang dibuat dilakukan dengan analisa SEM – EDX. Dari hasil analisa SEM – EDX terhadap kedua MEA yang dibuat tampak bahwa distribusi katalis pada metoda *loading painting* lebih merata dibandingkan metoda *screen printing*. Pengujian kinerja dilakukan pada masing-masing HFC, yaitu HFC *painting* dan HFC *screen printing* dengan variasi laju alir gas hidrogen 10, 15, dan 20 ml/menit. Gas hidrogen diperoleh dari proses elektrolisa air di *electrolyser*. Kinerja terbaik dihasilkan oleh HFC *painting* pada laju alir gas hidrogen 15 ml/menit dengan daya sebesar 6,05 mWatt (tegangan 0,68 volt dan arus 1,24/cm² mA).

Kata kunci: Sel Bahan Bakar Hidrogen, MEA, *loading katalis*, *Painting* dan *Screen Printing*

ABSTRACT

Fuel cell is one of the electricity-producing technologies that utilize alternative renewable energy sources and many are currently being developed, one of which is a *Hydrogen Fuel Cell* (HFC). Hydrogen gas used as fuel for HFC enters the fuel cell system into the anode side to form protons and electrons, while oxygen from the air into the cathode side. A *stack* HFC is consist of *end plates*, *current collector*, and the MEA (*Membran Electrode Assembly*). The most important HFC component is MEA since hydrogen oxidation and oxygen reduction to generate electrical current and voltage occurred on it. The 3 x 3 cm MEA-sized is formed by *hot pressing* membrane and *carbon paper* that has been loaded by catalyst. One of the factors that affect the performance of HFC is the choice of catalyst loading method used in the MEA. The purpose of the research is comparing two catalyst loading methods those are *painting* and *screen printing* on the MEA in a *Hydrogen Fuel Cell* fabrication. Two HFC *stacks* made during the research using the *painting* and *screen printing* of catalyst loading method. The MEA is characterised by SEM – EDX analyze. The SEM – EDX analyze of the two MEAs shows that distribution of the catalyst on the carbon surface which is *paintly* loaded is more homogenous than the surface carbon loaded using *screen printing* method. A Measurement has carried out on individual performance - each HFCs, namely HFC *painting* and HFC *screen printing* by varying hydrogen gas flow rate 10, 15, and 20 ml / min. Hydrogen gas used as a fuel for HFC is obtained from water electrolysis process in the *electrolyser*. The best performance was produced by HFC *painting* on the hydrogen gas flow rate 15 m is



l/min with a power equal to 7.62 mWatt (voltage of 0.68 volts and the current 11.2 mA).

Key words : *Hydrogen Fuel Cell* , *Membran Electrode Assembly* , *Catalyst Loading*, *Painting* and *Screen Printing*

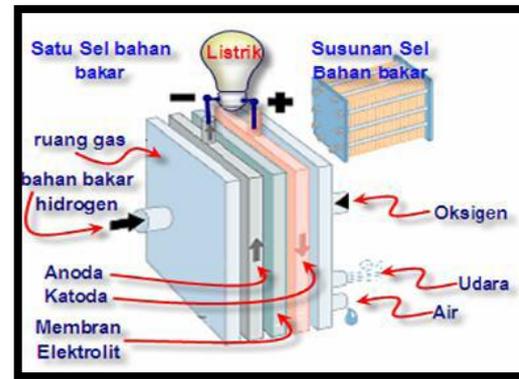
1. PENDAHULUAN

Penelitian terhadap sumber energi terbarukan pada saat ini sudah banyak dikembangkan terutama di negara-negara maju. Sumber energi terbarukan ditujukan sebagai pengganti dari sumber energi yang saat ini masih digunakan yaitu minyak bumi. Sumber energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, salah satunya yaitu hidrogen.

Hidrogen dapat diperoleh dengan cara elektrolisis air menggunakan elektrolit basa, *steam reforming* dengan melibatkan proses pembakaran gas alam, *carbon monoxide (water shift gas reaction)* melibatkan oksigen dari molekul air yang *distripping* (dilucuti), reaksi *redoks* dengan mereaksikan logam dan larutan asam, dan *fotolisis* air oleh *algae* dengan bantuan cahaya matahari^[9]. Berdasarkan hasil penelitian, hidrogen 33% lebih efisien daripada bahan bakar cair. Oleh karena itu, teknologi yang bisa memanfaatkan hidrogen ini pun juga ikut dikembangkan. Salah satu teknologi yang saat ini sedang dikembangkan untuk dapat mengolah hidrogen adalah teknologi *fuel cell*^[4].

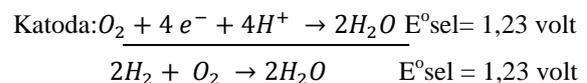
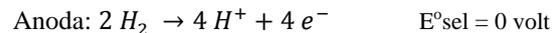
Fuel cell mengubah energi kimia langsung menjadi energi listrik melalui reaksi kimia antar hidrogen dan oksigen. Salah satu kategori *fuel cell* adalah *Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)*, yang mana PEFC yang berbahan bakar hidrogen disebut *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* atau alatnya lebih dikenal dengan nama HFC (*Hydrogen Fuel Cell*)^[5,8].

Satu unit *fuel cell* terdiri dari dua buah elektroda (anoda dan katoda) yang dipisahkan oleh membran penukar proton (*proton exchange membrane*) sebagai elektrolit. Pada anoda, gas hidrogen yang melewati asam dari elektrolit serta bantuan dari katalis platina (Pt), akan terionisasi menghasilkan elektron dan ion hidrogen (proton). Reaksi ini akan membebaskan energi. Sementara di katoda, oksigen bereaksi dengan elektron yang diambil dari elektroda dan proton (ion hidrogen) membentuk air. Dengan demikian limbah dari proses ini hanya air murni yang aman untuk dibuang^[5,8].



Gambar 1. Prinsip Kerja pada Satu Unit (Single Stack) Fuel Cell^[7]

Berdasarkan prinsip kerjanya, hidrogen direaksikan dengan oksigen sehingga menghasilkan listrik, panas dan air. Pada sisi anoda, hidrogen akan teroksidasi menghasilkan elektron dan ion hidrogen (proton). Reaksi pada anoda akan membebaskan energi. Sedangkan pada sisi katoda, oksigen akan tereduksi. Oksigen bereaksi dengan elektron dan ion hidrogen (proton). Reaksi sel bahan bakar hidrogen adalah sebagai berikut :



Terdapat tiga tahapan dalam pembuatan *Hydrogen Fuel Cell*, yaitu perancangan, pembuatan komponen dan perakitan. Tahapan terpenting adalah tahapan pembuatan komponen MEA (*Membrane Elektrolit Assembly*). MEA adalah komponen terpenting, di mana reaksi redoks (reaksi oksidasi dan reaksi reduksi) terjadi untuk menghasilkan energi listrik. MEA merupakan lembaran yang tipis terdiri dari elektroda (kertas karbon), katalis dan membran polimer (penukar proton). Tahap selanjutnya adalah perakitan MEA dengan suatu *current collector*, *rum support* dan *end plate* menjadi satu *stack Hydrogen Fuel Cell*.

Banyak faktor yang yang mempengaruhi besarnya arus listrik yang dihasilkan oleh satu *stack Hydrogen Fuel Cell*, diantaranya jenis membran yang digunakan, elektroda, penyebaran katalis pada elektroda, luas permukaan elektroda, jenis *current collector* dan *rum support*, serta laju alir gas hidrogen. Dalam penelitian ini titik berat peningkatan kinerja *Fuel Cell* yang dibuat yaitu pada pemilihan metoda penyebaran katalis (*loading*) Pt-karbon pada elektroda dan variasi laju alir gas hidrogen. Metoda *loading* katalis *painting* adalah metoda konvensional yang umum dilakukan. Metoda *painting* sebelumnya telah diaplikasikan pada pembuatan DMFC (*Direct Metanol Fuel Cell*)



di Laboratorium Satuan Proses Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung. DMFC berukuran 3 x 3 cm dengan metoda *loading* katalis *painting*, menghasilkan energi listrik sebesar 2,109 mWatt^[6]. Pada penelitian ini diaplikasikan metoda *loading* katalis *screen printing* yaitu pelapisan katalis pada kertas karbon menggunakan *screen* sablon. Dengan metoda *screen printing* diharapkan distribusi katalis lebih merata sehingga dapat meningkatkan kinerja HFC.

Saat ini *Hydrogen Fuel Cell* dimanfaatkan sebagai pensuplai energi listrik untuk peralatan berdaya rendah, seperti mengisi baterai *handphone*, baterai laptop, menyalakan lampu LED, dan bahkan di negara-negara maju *Hydrogen Fuel Cell* telah sukses dikembangkan dan diaplikasikan pada berbagai jenis kendaraan^[1]. Di Indonesia, *Hydrogen Fuel Cell* belum banyak dikembangkan karena kendala dana yang cukup besar. Namun, dengan berbagai penelitian energi terbarukan dan ramah terhadap lingkungan, maka penelitian tentang *Hydrogen Fuel Cell* sangat perlu untuk dikembangkan

2. METODE

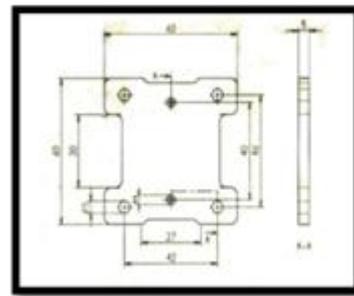
2.1. Tahap Persiapan alat dan bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian terdiri dari elektroda berupa kertas karbon (*carbon paper*), katalis platina (Pt/C) yang berbentuk serbuk, membran nafion® 1135, larutan nafion 5%, *current collector* berbahan *stainless steel*, ram *support* berbahan plastik dan *end plate* berbahan *flexyglass*, aquadest, larutan H₂SO₄, H₂O₂, NaOH. Alat-alat yang digunakan terdiri dari termometer, *hot plate*, gelas kimia, kuas, *screen*, *plate carbon*, *C-clamps*, oven, *ultrasonik*, seperangkat alat elektrolisis dan multimeter.

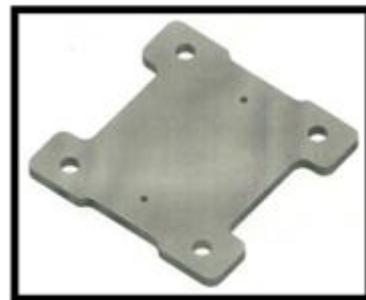
2.2. Tahap Perancangan

(1) Desain *End Plate* untuk anoda dan katoda

Bahan yang digunakan untuk membuat *end plate* adalah *flexyglass*. *End plate* berfungsi sebagai *casing* dari sel bahan bakar hidrogen yang dibuat. Gambar teknik dan desain *end plate* untuk anoda dapat dilihat pada gambar 2. Sedangkan untuk gambar teknik dan desain *end plate* katoda pada gambar 3.

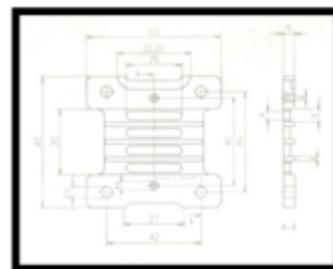


(a)



(b)

Gambar 2. Gambar Teknik *End Plate* untuk Anoda (a) dan Desain *End Plate* untuk Anoda Tampak Depan (b)



(a)



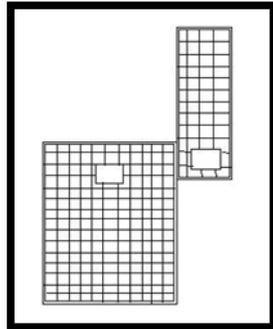
(b)

Gambar 3. Gambar Teknik *End Plate* untuk Katoda (a) dan Desain *End Plate* untuk Katoda Tampak Depan (b)



(2) Desain current collector

Current collector merupakan komponen pengumpul elektron sehingga menghantarkan arus. *Current collector* diletakan pada bagian luar elektroda. Material yang digunakan sebagai *current collector* adalah *stainless steel screen*. Ukuran *current collector* yang digunakan sama dengan ukuran permukaan aktif dari MEA yang dibuat yaitu 3 x 3 cm.

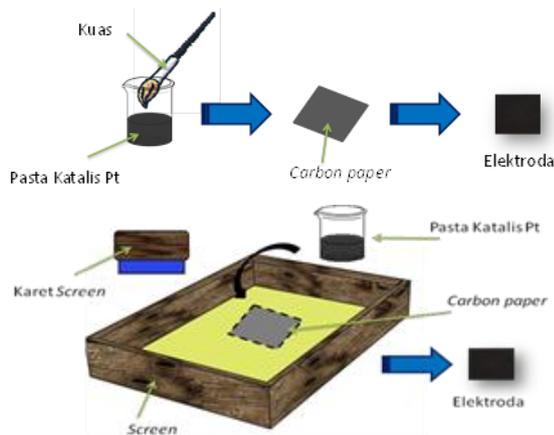


Gambar 4. Desain *current collector*

2.3. Tahap Pembuatan MEA

Tahap pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) terdiri dari *treatment* membran, *loading* katalis dan *hot pressing* MEA. *Treatment* membran dilakukan dengan cara perendaman membran pada aquadest, larutan H₂O₂ dan larutan H₂SO₄ pada suhu 90°C.

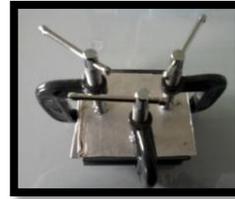
Loading katalis Pt-C pada kertas karbon (*carbon paper*) dilakukan secara *painting* (gambar 5) menggunakan kuas dan *screen printing* (gambar 6) menggunakan *screen* sablon.



Gambar 5. *Loading* Katalis secara *Screen Printing*

Proses Pembuatan MEA terdiri dari penggabungan dua elektroda (anoda dan katoda) dengan satu elektrolit membran dengan cara *hot pressing* (penekanan panas) pada suhu 130°C selama 2 menit.

Susunan alat saat proses *hot pressing* dapat dilihat pada gambar 7.



(a)

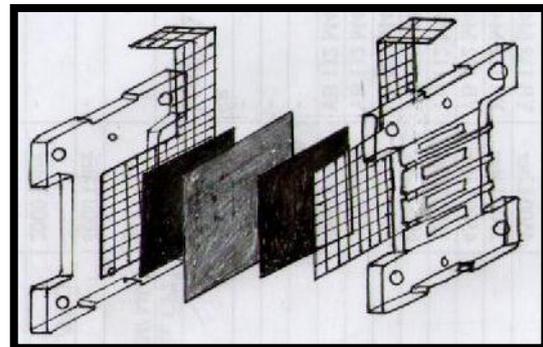


(b)

Gambar 7 Plat Karbon dan Klem C (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping

2.4. Tahap Perakitan HFC

Perakitan sel bahan bakar hidrogen (*Hydrogen Fuel Cell*) yaitu penggabungan dari MEA, *current collector*, *ram support*, dan *end plate*. Perakitan dilakukan manual dengan menggunakan bahan perekat/lem silikon. Gambar desain HFC dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Desain *Hydrogen Fuel Cell*

2.5. Tahap Persiapan Hidrogen dari Reaksi elektrolisis Air

Bahan bakar yang digunakan untuk pengujian kinerja dari alat yang dibuat adalah hidrogen. Hidrogen yang digunakan bersumber dari proses elektrolisis air menggunakan alat *electrolyser*. Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaOH 4%.

Laju alir gas hidrogen yang dialirkan ke HFC diatur pada 10,15 dan 20 ml/menit. Laju alir gas hidrogen yang terbentuk dipengaruhi oleh arus yang diberikan oleh *rectifier* untuk proses elektrolisa air. Untuk mengetahui laju alir gas hidrogen yang dialirkan digunakan *bubble flow meter* dan *stopwatch*.



2.6. Tahap Pengujian Kinerja

Pengujian dilakukan terhadap sel HFC (satu *stack*) yang dibuat berdasarkan perbedaan *loading* katalis, yaitu secara *painting* dan *screen printing*. Hidrogen dilewatkan pada sisi anoda dan gas oksigen yang berasal dari udara masuk ke sisi katoda. Pengujian dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh HFC menggunakan multimeter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

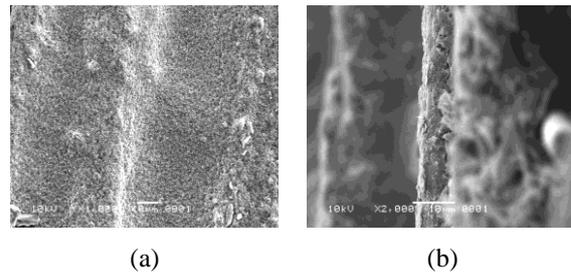
3.1. Aplikasi metoda *loading* katalis secara *painting* dan *screen printing* pada MEA

Carbon paper (sebagai anoda dan katoda) yang dilapisi katalis dengan metoda *painting* dan *screen printing* dilakukan pada kondisi dan waktu yang sama serta memiliki ukuran luas permukaan aktif yang sama untuk setiap metoda, yaitu 3 x 3 cm. Adapun *load* katalis yang digunakan adalah 1 mg Pt/cm² untuk masing – masing anoda dan katoda. Tujuan dari kedua metode ini yaitu mengaplikasikan katalis Pt tersebar secara merata di atas *carbon paper* sehingga proses oksidasi pada bahan bakar gas H₂ terjadi secara cepat dan merata. Dilihat dari tekniknya, secara teori metoda *screen printing* lebih unggul karena katalis Pt dapat terdistribusi secara merata di seluruh permukaan *carbon paper*. Ini diakibatkan permukaan alat sablon yang rata dan ukurannya lebih besar dibandingkan dengan ukuran *carbon paper*, sehingga hanya dengan sekali pengolesan (satu arah) saja katalis Pt sudah tersebar secara merata. Berbeda dengan *painting* yang pengolesannya secara manual menggunakan kuas sehingga penyebaran dan jumlah katalis Pt tidak sama di setiap titik atau tidak merata.

Untuk mengetahui efektivitas metoda *painting* dan *screen printing* pada tahap pelapisan katalis Pt/C dilakukan analisa *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (SEM – EDX).

(1) Analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM)

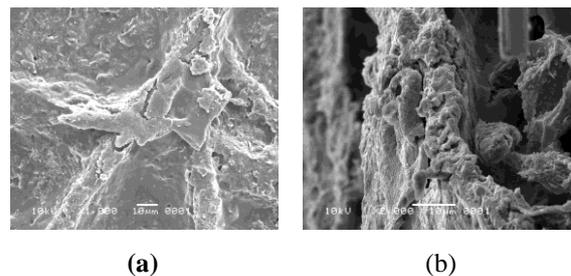
Analisa SEM dilakukan untuk mengetahui hasil persebaran katalis Pt/C di atas permukaan *carbon paper* secara *painting* dan *screen printing* secara mikroskopik. Hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 9-10.



Gambar 9. Permukaan lapisan katalis Pt (a) dan tebal lapisan katalis Pt (b) pada *Carbon Paper* dengan Metoda *Painting*

Pada gambar 9 dan 10 (a) terlihat jelas perbedaan distribusi penyebaran katalis Pt. Pada *painting* lapisan katalis tersebar cukup merata di seluruh permukaan *carbon paper* sehingga ketebalannya terbentuk cukup rata. Pada *screen printing*, lapisan katalis tidak tersebar merata di seluruh permukaan, bahkan menggumpal sehingga ketebalan yang terbentuk tidak rata sama sekali.

Terbentuknya lapisan katalis yang tidak merata ini kemungkinan diakibatkan oleh ukuran pori (*mesh*) alat *screen* yang terlalu kecil dan rapat, sehingga pada saat *loading* tidak semua katalis lolos ke permukaan *carbon paper*. Pernyataan ini didasarkan pada pengamatan visual, yaitu saat *loading* dilakukan waktu yang diperlukan katalis untuk mencapai permukaan *carbon paper* cukup lama dikarenakan katalis tersebut terhambat terlebih dahulu oleh permukaan *screen*. Akibatnya, banyak jumlah katalis yang tertinggal di permukaan *screen* dan tidak lolos menuju permukaan *carbon paper*.

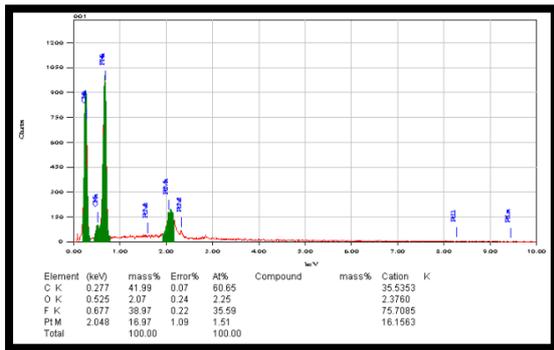


Gambar 10. Permukaan Lapisan Katalis Pt (a) dan Tebal Lapisan Katalis Pt (b) pada *Carbon Paper* dengan Metoda *Screen Printing*

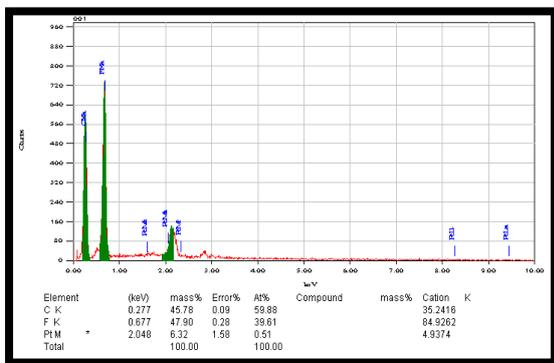
Hasil analisa SEM – EDX menunjukkan ketebalan lapisan katalis Pt adalah sekitar 10 µm. Ketebalan pada *painting* terbentuk cukup rata dan rapi, sedangkan pada *screen printing* ketebalan yang terbentuk tidak beraturan (Gambar 9-10 (b)).



(2) Analisa Energy Dispersive X – Ray (EDX)



(a)



(b)

Gambar 11. EDX pada Elektroda (Anoda dan Katoda) dengan Metoda *Painting*(a) dan Metoda *Screen Printing* (b)

Untuk analisa EDX elektroda pada metoda *painting* memiliki hasil yang hampir sama dengan secara teoritis, yaitu perbandingan komposisi Pt terhadap *carbon* adalah 1 : 3. Pada Gambar 11 menunjukkan kadar Pt hampir 1/3 dari kadar *carbon*, yaitu 16,97 % untuk Pt dan 41,99% untuk *carbon*. Berdasarkan hasil analisa ini dikatakan bahwa jumlah kehilangan *carbon* sekitar 25% dengan asumsi Pt lolos semua. Sedangkan untuk analisa EDX elektroda pada metoda *screen printing* memiliki hasil yang sangat jauh jika dibandingkan dengan secara teoritis, yaitu pada kadar Pt sebesar 6,32% dan kadar *carbon* sebesar 45,78%. Kadar Pt-nya sangat kecil. Jika diasumsikan Pt lolos semua, seharusnya kadar yang diperoleh yaitu 33%. Maka jumlah kehilangan *carbon* pada metoda ini sebesar 21% apabila Pt diasumsikan lolos semua (33%).

Berdasarkan hasil analisa EDX pada kedua metoda ini, jumlah *load* katalis Pt untuk metoda *painting* lebih banyak yang lolos ke permukaan *carbon paper* dibandingkan dengan metoda *screen printing*, sehingga kinerja dari HFC dengan metoda *painting* lebih baik daripada *screen printing*.

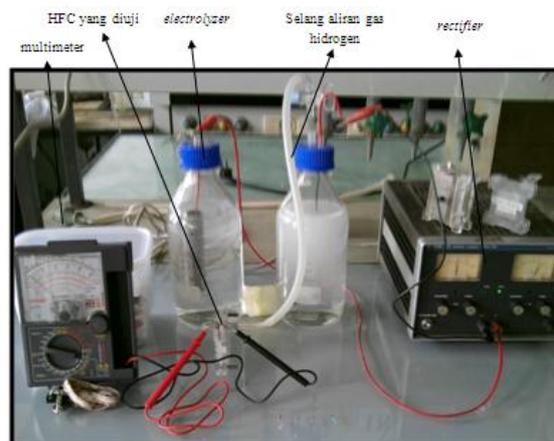
3.2. Pengujian Kinerja HFC

HFC yang sudah dirakit dan membentuk satu sel dapat dilihat pada gambar 11. Pengujian dilakukan dengan variasi laju alir gas H₂, yaitu 10, 15, 10 ml/men pada setiap pengujian HFC. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal dari kebutuhan H₂ sebagai *fuel* berdasarkan kualitas HFC yang dihasilkan. Pengujian dilakukan selama 180 menit dan pada menit ke-35 sudah mencapai keadaan konstan (*steady state*). Rangkaian alat pada pengujian kinerja dapat dilihat pada gambar 12.

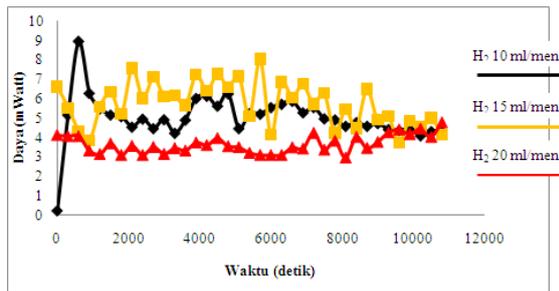


Gambar 11. HFC 3 x 3 cm Sisi Anoda (kiri) dan Sisi Katoda (kanan)

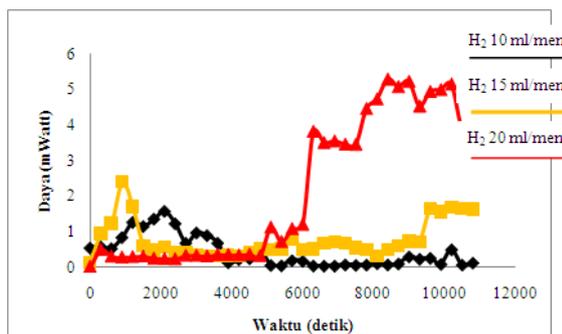
Berdasarkan data pengamatan di setiap HFC, kondisi optimal terjadi pada laju alir gas H₂ 15 ml/men karena menghasilkan arus dan tegangan paling besar dan fluktuatif yang terjadi cukup kecil. Bentuk kurva yang cukup baik terlihat pada laju alir gas H₂ 15 ml, ditandai dengan fluktuatif yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan laju alir lainnya. Kondisi ini merupakan kondisi optimal. Hal ini juga sama terjadi pada HFC *screen printing* yang dapat dilihat pada gambar 13-14. Laju alir gas H₂ yang optimal pada HFC menghasilkan kualitas dan kuantitas daya yang tinggi karena arus dan tegangannya juga tinggi.



Gambar 12. Rangkaian Alat dalam Pengujian Kinerja HFC



Gambar 13. Kurva Daya yang Dihasilkan HFC *Painting* terhadap Waktu



Gambar 14. Kurva Daya yang Dihasilkan HFC *Screen Printing* terhadap Waktu

4. KESIMPULAN

HFC yang memiliki kinerja terbaik pada penelitian ini adalah HFC yang menggunakan *loading* katalis secara *painting*. Tegangan yang dihasilkan adalah 0,68 volt pada rapat arus 1,24 mA/cm² dan daya yang dihasilkan adalah 6,05 mWatt. Dari hasil tersebut, HFC “*painting*” memiliki kinerja yang lebih baik dari HFC “*screen printing*”. Hal ini juga didukung oleh hasil analisa SEM – EDX, distribusi penyebaran katalis Pt/C menggunakan metoda “*painting*” lebih merata di atas permukaan *carbon paper* dibandingkan dengan menggunakan metoda “*screen printing*”. Kondisi optimal setiap HFC diperoleh pada laju alir 15 ml/men yang menghasilkan arus dan tegangan paling besar serta fluktuatif terjadi cukup kecil.

Dalam pembuatan HFC dengan metoda *loading* katalis secara *screen printing*, maka ukuran pori alat *screen* yang digunakan harus menjadi pertimbangan utama pada penelitian selanjutnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada UPPM POLBAN yang telah mendanai penelitian ini dan

kepada Bapak Haryadi, PhD, yang telah memberikan masukan dan saran selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Auger, Steve. *Fuel Cell Theory and Application* (Tuesday, September 29, 2009 at 12:01 AM). <http://blogonsmog.com/techno-tuesday/fuel-cell-theory-and-application.html> (15 Maret 2010)
- [2] Anonim. (24 April 2009). *Pembuatan Gas Hidrogen (H₂)* (Online). <http://anekailmu.blogspot.com>. (27 April 2010).
- [3] Anonim. 2010. *Pabrikasi stack fuel cell* (Online). <http://introductionfuelcell.blogspot.com/2009/05/pabrikasi-stack-fuel-cell-2.html>. 14 Mei 2010.
- [4] Anonim. 2009. *Sejarah Penemuan “Fuel Cell” Teknologi Penghasil Energi Ramah Lingkungan* (online). (25 November 2009).
- [5] Anonim . 2000. *Fuel Cell Handbook (Fifth Edition)* (online). <http://klipingut.wordpress.com/2009/11/25>. EG&G Services Parsons, Inc. Science Applications International Corporation. (27 April 2010)
- [6] Troskialina, L. 2008. *Pembuatan Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) dan Pengujian Kinerja DMFC pada Berbagai Konsentrasi Metanol*. Bandung: Polban.
- [7] Sartono, A. A. 2006. *Teknologi Material Sel Bahan bakar* (online). <http://www.agfipusat.com/gudang/lain2/Paper%20%20Sel%20Bahan%20Bakar.pdf>. (Maret 2010).
- [8] Spiegel, Colleen. 2007. *Designing and Building Fuel Cell-1st ed.* McGraw-Hill. New York, United State of America.
- [9] Sungkawa, Cahyadi dan Haris Romadhan. 2009. *Pembuatan Electrolyzer untuk Menghasilkan Hydrogen sebagai Umpam Hydrogen Fuel Cell*. Bandung : Polban.