



## HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Produksi Gas hidrogen untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) melalui Hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C
2. Bidang Penelitian : Energi Baru dan Terbarukan (Produksi Hidrogen)
3. Ketua Peneliti :
  - a. Nama Lengkap : Dr. Dedi Rohendi, M.T
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 196704191993031001
  - d. Pangkat dan Golongan: Penata / IIIc
  - e. Jabatan Struktural : -
  - f. Jabatan fungsional : Lektor
  - g. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya (UNSRI)
  - h. Fakultas/Jurusan : MIPA / Kimia
  - i. Alamat Kantor : Jl. Palembang-Prabumulih Km 32 Inderalaya Ogan Ilir
  - j. Telpon/Faks : 0711 580269
  - k. Alamat Rumah : Jl. Parameswara Lr. Macan Kumbang no.55 Palembang 30139
  - l. Telpon/HP/e-mail : 0711 445510 / 0816383220 / rohendi19@gmail.com
4. Jangka Waktu Penelitian : 1 (satu) tahun
5. Jumlah yang diajukan : Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

Palembang, 13 Nopember 2014

Mengetahui,  
Dekan FMIPA UNSRI

Peneliti Utama,

**Drs. M. Irfan, M.T.**  
NIP: 196409131990031003

**Drs. Dedi Rohendi, M.T**  
NIP: 196704191993031001

Menyetujui,

Ketua Lembaga Penelitian UNSRI

**Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc**  
NIP. 196108121987031003



## IDENTITAS PENELITIAN

1. Judul Usulan:

Produksi Gas hidrogen untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) melalui Hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C.

2. KetuaPeneliti

(a) Nama lengkap : Dr. Dedi Rohendi, M.T  
(b) Bidang keahlian : Fuel Cell / elektrokimia

3. Anggota peneliti

No	Nama dan Gelar	Keahlian	Institusi	Curahan waktu (jam/minggu)
1	M. Said, M.T	Membran	Kimia FMIPA UNSRI	15

4. Isu Strategis : Bahan bakar untuk sumber energi baru ramah lingkungan

5. Topik Penelitian : Gas hidrogen dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  sebagai bahan bakar untuk PEMFC

6. Objek penelitian : Gas hidrogen (meliputi cara mengatur pelepasan hidrogen dari  $\text{NaBH}_4$  dengan menggunakan katalis Co/C)

7. Lokasi penelitian : Jurusan Kimia FMIPA UNSRI

8. Hasil yang ditargetkan : 1. Metode pembuatan katalis dan produksi hidrogen  
2. Jurnal nasional terakreditasi

9. Institusi lain terlibat : Tidak ada

10. Sumber biaya lain : Tidak ada

11. Keterangan lain yang dianggap perlu:

## ABSTRAK

Fuel Cell khususnya *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang banyak menjadi pusat perhatian dan penyelidikan kaitan dengan kemampuan untuk menghasilkan energi yang memadai dari segi kuantitas dan kualitas serta ramah lingkungan. Aplikasi PEMFC sebagai sumber energi diarahkan untuk kendaraan, perangkat mudah alih dan sumber energi untuk perumahan. Salah satu kendala penggunaan PEMFC sebagai penghasil energi yang bersih adalah penyediaan gas hidrogen sebagai bahan bakar yang meliputi produksi dan penyimpanan hidrogen. Hidrogen dapat diproduksi melalui beberapa cara, antara lain elektrolisis, reformasi gas alam, dan dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Pada penelitian ini diusulkan untuk melakukan kajian produksi gas hidrogen dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Karena reaksi hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  relatif mudah berlangsung secara spontan, maka perlu dilakukan kajian agar dapat mengatur pelepasan gas hidrogen sesuai keperluan. Pengaturan dilakukan dengan menambahkan katalis Co dalam matriks serbuk karbon (Co/C). Kajian meliputi pengaruh kandungan NaOH dan katalis terhadap produksi gas hidrogen.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Semakin terbatasnya cadangan minyak bumi dan semakin bertambahnya polusi udara yang disebabkan oleh pemakaian energi berbasis bahan bakar fosil memacu para ilmuwan untuk mencari sumber energi alternatif yang memadai baik secara kualitas maupun kuantitas serta ramah lingkungan sehingga dapat membantu mengatasi terjadinya krisis energi dan krisis lingkungan.

Salah satu sumber bahan bakar alternatif masa depan adalah gas hidrogen. Gas hidrogen berpotensi menggantikan bahan bakar fosil karena mempunyai karakteristik kerapatan energi yang besar dan tidak mengandung unsur karbon yang dapat mengemisikan CO<sub>2</sub> atau CO ke atmosfer. Hidrogen sebagai pembawa energi merupakan pilihan yang paling atraktif. Saat gas hidrogen "dibakar", baik secara elektrokimia dalam *fuel cell* atau secara konvensional dalam mesin pembakar internal tidak menghasilkan emisi karbon melainkan hanya air sebagai produk samping.

Diantara kendala pemanfaatan gas hidrogen sebagai sumber bahan bakar alternatif adalah gas hidrogen tidak terdapat di alam dalam keadaan bebas melainkan tersedia dalam bentuk senyawa seperti dalam air atau senyawa hidrokarbon. Untuk memisahkan hidrogen dari senyawa tersebut dibutuhkan energi lain. Selain itu, kerapatan masa yang kecil dan kemudahan terbakar menjadi kendala lain.

Gas hidrogen dapat diperoleh dengan berbagai metode antara lain seperti metode gas air, metoda kukus hidrokarbon, metoda elektrolisis air dan hidrolisis senyawa yang mengandung hidrogen misalnya NaBH<sub>4</sub>. Metoda elektrolisis air merupakan metoda yang menghasilkan hidrogen dan oksigen murni, sementara metode gas air dan metoda kukus hidrokarbon masih menghasilkan emisi karbon sebagai produk samping karena bahan bakunya berasal dari senyawa hidrokarbon.

Salah satu alternatif produksi gas hidrogen adalah dari reaksi hidrolisis NaBH<sub>4</sub>. Akan tetapi, reaksi hidrolisis NaBH<sub>4</sub> berlangsung spontan sehingga sulit untuk menahan dan melepaskan gas hidrogen sesuai keinginan. Salah satu upaya untuk menahan proses hidrolisis spontan adalah dengan menambahkan NaOH dan upaya pelepasan hidrogen dari larutan

$\text{NaBH}_4$  dalam suasana alkali dapat dilakukan dengan bantuan katalis. Kajian untuk menentukan pengaruh dari penambahan  $\text{NaOH}$  dalam menahan pelepasan hidrogen dan katalis untuk membantu melepaskan hidrogen perlu dilakukan.

## 1.2. Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- a. Membuat dan mengkarakterisasi katalis  $\text{Co/C}$
- b. Menentukan kandungan optimum katalis  $\text{Co/C}$
- c. Menyelidiki pengaruh kandungan  $\text{NaOH}$  terhadap produksi gas hidrogen

## 1.3. Urgensi Penelitian

Pesatnya penelitian untuk memanfaatkan fuel cell terutama PEMFC harus diimbangi dengan penyediaan gas hidrogen sebagai bahan bakar yang memadai. Penelitian yang dilakukan oleh peneliti selama ini fokus kepada penelitian peralatan fuel cell terutama *Membrane Electrode Assembly* (MEA) sebagai komponen terpenting dari PEMFC. Penelitian tentang produksi hidrogen mempunyai urgensi dalam penyediaan gas hidrogen yang memadai sebagai bahan bakar untuk PEMFC. Penggunaan  $\text{NaBH}_4$  sebagai prekursor untuk menghasilkan gas hidrogen bertujuan untuk mereduksi ukuran fuel cell secara keseluruhan, terutama jika akan menggunakan PEMFC dalam perangkat mudah alih.

Usulan penelitian lanjutan rencananya akan dilakukan tahun berikutnya dengan fokus penelitian pada upaya penyimpanan (*storage*) hidrogen.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

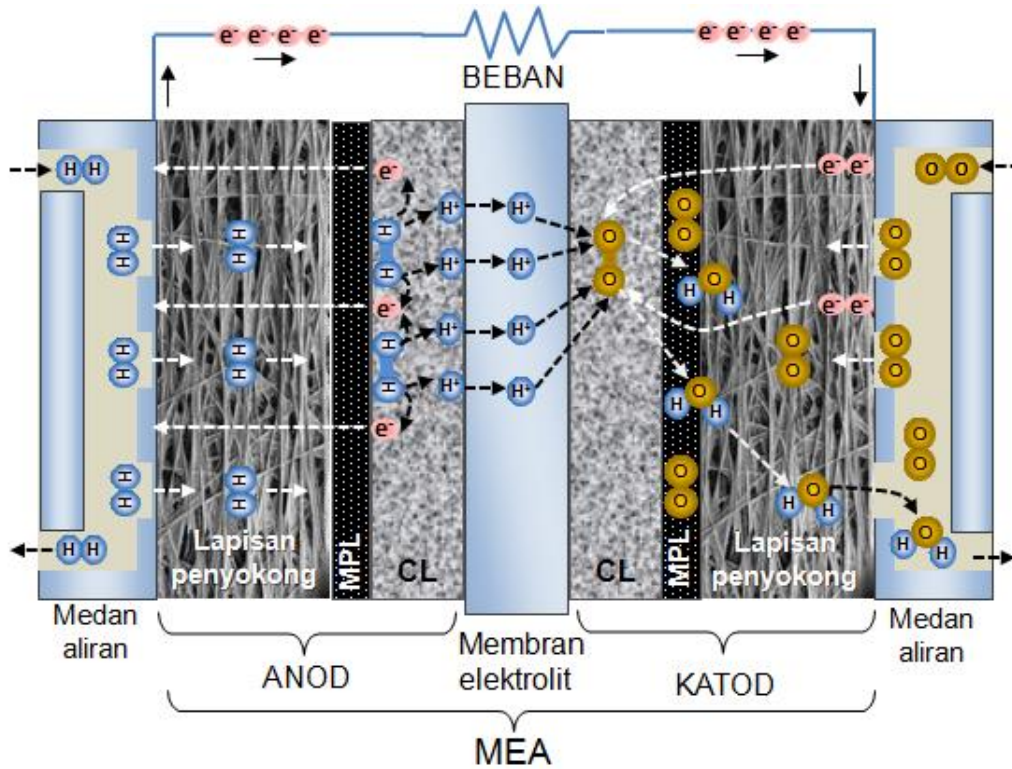
#### **2.1. Prinsip dan Karakterisasi PEMFC**

PEMFC adalah fuel cell yang menghasilkan energi listrik dari reaksi elektrokimia antara gas hidrogen sebagai bahan bakar dan oksigen sebagai pengoksidasi melalui lapisan katalis yang terdapat pada kedua elektroda (katoda dan anoda) dan menggunakan membran penukar proton sebagai elektrolit [1].

PEMFC digunakan secara meluas sebagai salah satu peralatan penukaran energi yang menjanjikan untuk kendaraan, pembangkit dan sistem mudah alih karena kerapatan kuasa yang tinggi, efisiensi energi yang tinggi, tidak ada pelepasan pencemar dan suhu operasi yang rendah [1-5]. Keberhasilan pengkomersilan PEMFC terletak kepada kemampuannya untuk menunjukkan prestasi yang optimum dalam menukar gas hidrogen sebagai bahan bakar menjadi energi listrik dengan kerapatan arus yang tinggi [6].

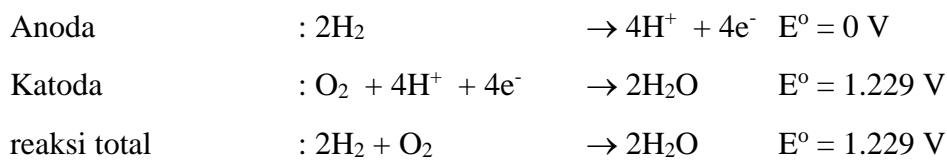
Sesuai namanya, PEMFC merupakan fuel cell yang mengubah gas hidrogen dan oksigen menjadi air dan listrik melalui serangkaian reaksi yang diawali dengan pengubahan gas hidrogen menjadi proton (ion  $H^+$ ) di anoda untuk selanjutnya akan melakukan reaksi elektrokimia dengan oksigen di katoda melalui suatu membran elektrolit polimer. Gambaran prinsip kerja dan komponen daripada PEMFC ditunjukkan dalam gambar 1.





1. Proses tindak balas dan komponen daripada PEMFC.

Seluruh proses reaksi elektrokimia terjadi di dalam MEA mengikuti persamaan sebagai berikut:



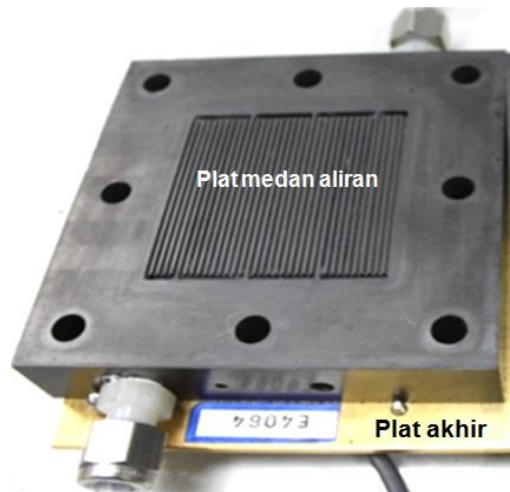
Merujuk persamaan di atas, ion  $\text{H}^+$  dari anoda akan mengalir melalui membran elektrolit ke katoda dan elektron akan mengalir melalui anoda ke pengumpul arus, selanjutnya akan mengalir ke katoda melalui beban. Oksigen, ion  $\text{H}^+$  dan elektron di katoda kemudian akan bereaksi menghasilkan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Adanya aliran elektron dalam reaksi elektrokimia memberikan gambaran terjadinya perubahan energi kimia menjadi energi listrik.

Komponen umum dari PEMFC seperti ditunjukkan dalam gambar 1 adalah:

a. **Plat Medan Aliran (flow field plate) dan Plat Akhir (end plate)**

Plat medan aliran mempunyai empat fungsi, iaitu; sebagai pengumpul dan pengalir arus, penyedia laluan bahan reaksi, pemisah antara sel dalam stek dan sebagai penyokong MEA. Plat medan aliran umumnya dibuat dari bahan komposit grafit dengan epoksi sebagai pengikat dan pengisinya. Plat medan aliran harus mempunyai sifat mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi dan permeabilitas gas yang rendah. Sementara itu, plat akhir berfungsi sebagai penahan PEMFC dan pengalir elektron. Contoh gambar plat medan aliran dan plat akhir dari PEMFC sel tunggal dan dikeluarkan oleh perusahaan Electrochem Inc. (Amerika Serikat) ditunjukkan dalam gambar 2.

Pada PEMFC multi stek, plat medan aliran mempunyai dua sisi, yaitu satu sisi berada pada anoda (kutub - ) tempat mengalirnya hidrogen dan lepasnya elektron, dan sisi lainnya pada katoda (kutub + ) tempat mengalirnya udara dan masuknya elektron dari sisi anoda. Dengan demikian, plat medan aliran untuk PEMFC multi stek disebut juga plat dwikutub.



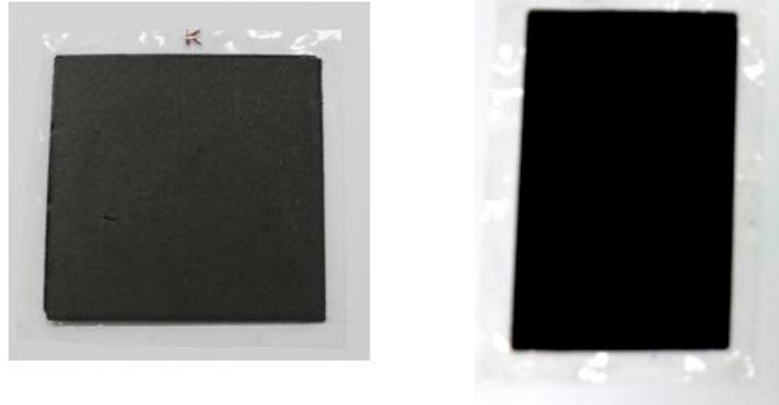
2. Contoh gambar plat medan aliran dan plat akhir untuk stek PEMFC tunggal (Fuel Cell Store, Amerika Searikat).

**b. MEA**

MEA merupakan pusat reaksi elektrokimia perubahan gas hidrogen dan oksigen menjadi air dan arus listrik. MEA terdiri dari dua buah elektroda (anoda dan katoda) yang mengapit membran polimer. Elektroda sendiri terdiri daripada beberapa lapisan,

yaitu lapisan penyokong, *Microporous Layer* (MPL) dan *Catalyst Layer* (CL). Anoda berfungsi sebagai tempat pengoksidasian gas hidrogen menjadi ion  $H^+$  dan katoda tempat reduksi gas oksigen menjadi  $H_2O$ , sementara membran berfungsi untuk mengalirkan ion  $H^+$  dari anoda ke katoda.

Contoh gambar dari MEA ditunjukkan dalam gambar 3.



3. Contoh gambar MEA untuk PEMFC.

MEA merupakan komponen paling penting dalam sebuah PEMFC, karenanya menjadi tumpuan para peneliti dalam usaha untuk membangun MEA dengan ketumpatan arus dan ketahanan yang tinggi.

Pemanfaatan PEMFC mempunyai beberapa keuntungan, antaranya;

- a. Elektrolit berupa polimer padatan yang bersifat mantap, tidak bergerak, tipis, tidak menguap dan mempunyai kerintangan elektronik serta konduktivitas ionik yang tinggi,
- b. Suhu operasi yang rendah memudahkan pengurusan dan memulai operasi serta mengurangi biaya,
- c. Pencemaran minim karena hasil sampingannya hanyalah air dan sedikit kalor,
- d. Tidak ada bagian yang dapat terkikis.

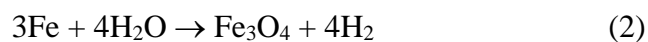
Sementara itu, kelemahan dari PEMFC antaranya;

- a. Polimer elektrolit harus dalam bentuk hidrat sehingga harus dijaga kelembabannya. Oleh karena itu, suhu operasi tidak boleh terlampaui tinggi dan juga tidak boleh terlampaui rendah.
- b. PEMFC menghendaki penggunaan bahan bakar hidrogen murni. Kehadiran CO dalam campuran bahan bakar dapat menghalangi reaksi di anoda walaupun tingkat halangan akan menurun dengan naiknya suhu operasi [7].

## 2.2. Produksi dan Penyimpanan Gas Hidrogen

Saat ini, produksi gas hidrogen paling berasal dari gas alam melalui proses reformasi uap metana. Walaupun teknologi ini sudah teruji, akan tetapi memerlukan energi yang besar, sebab proses reaksinya endotermik. Salah satu alternatif untuk mengurangi konsumsi energi dalam produksi hidrogen melalui proses reforming ini adalah oksidasi parsial metana terkatalitik, yang mencakup proses oksidasi parsial kering dan basah [8].

Kajian yang telah dilakukan dalam mempelajari produksi gas hidrogen melalui reformasi gas alam telah dilakukan oleh Cormos [9]. Cosmos melakukan proses reformasi gas alam menggunakan senyawa besi oksida melalui reaksi:



Oksida besi direduksi oleh metana menghasilkan unsur besi (reaksi 1), kemudian besi akan dihidrolisis menghasilkan gas hidrogen dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kembali (reaksi 2).

Selain reformasi metana, produksi hidrogen juga bisa dilakukan dengan menangkap gas CO menggunakan oksida besi melalui persamaan:

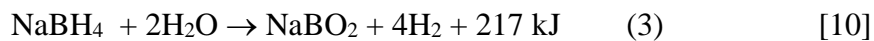
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3 \text{Fe} + 4\text{CO}_2$  , selanjutnya besi (Fe) dihidrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen seperti reaksi (2).

Reaksi redoks untuk menghasilkan gas hidrogen dari reaksi reformasi metana seperti dijelaskan di atas berlangsung pada suhu tinggi sehingga memungkinkan terjadinya penurunan kinerja dari oksida besi akibat perubahan struktur oksida besi. Untuk itu, Acha [8] menambahkan aditiv kromium pada campuran oksida besi-alumina.

Metode produksi gas hidrogen yang lain adalah produksi gas hidrogen melalui hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Produksi gas hidrogen melalui hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  memiliki beberapa keuntungan, antara lain [10]:

1. Proses pelepasan hidrogen dari  $\text{NaBH}_4$  dapat diikuti dengan proses penangkapan kembali gas hidrogen oleh  $\text{NaBO}_2$  yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  sehingga metode ini menggabungkan antara proses produksi dan penyimpanan hidrogen
2. Kecepatan pengontrolan hidrolisis
3. Kestabilan yang tinggi
4. Tingkat eksotermis yang moderat

Reaksi pelepasan gas hidrogen melalui proses hidrolisis terkatalitik  $\text{NaBH}_4$  adalah sebagai berikut:



Reaksi (3) berlangsung secara eksotermis dan dapat terjadi tanpa bantuan katalis. Supaya larutan  $\text{NaBH}_4$  dalam air dapat disimpan dengan aman, maka  $\text{NaOH}$  biasanya ditambahkan untuk mencegah terjadinya pelepasan hidrogen secara spontan. Reaksi pelepasan hidrogen dalam larutan  $\text{NaBH}_4$  alkalis dapat dilakukan dengan bantuan katalis [10]. Penggunaan berbagai jenis katalis telah dilakukan. Salah satu katalis yang relatif murah dan aktifitas tinggi adalah kobal (Co).

### BAB III

#### PETA JALAN PENELITIAN

Penelitian	Tahun				
Modifikasi pada Sistem Elektroda dalam Upaya Meningkatkan Kinerja Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) ( <i>Tesis S2</i> )	2002				
Pembuatan Elektroda Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) Dengan Metode Casting Menggunakan Katalis Pt-Co/C ( <i>Hibah Bersaing</i> )		2004-2006			
Produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air, larutan asam dan methanol ( <i>Skripsi mahasiswa S1</i> )			2007		
Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Fuel Cell dengan katalis Pt-Cr/C dan Pt/C Hasil Elektrodeposisi serta Penerapannya pada <i>Alkaline Fuel Cell (AFC)</i> ( <i>Hibah Bersaing</i> )			2007-2009		
Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions ( <i>International Journal of Hydrogen Energy, 38 (2013)</i> )				2013	
Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer ( <i>Journal of Science and Technology, 11 (2014)</i> )					2014
Fabrication of High Current Density MEA for Portable PEMFC ( <i>Disertasi S3</i> )					2014
Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA) Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i> Kinerja Tinggi dengan Metode Elektrodeposisi dan Penyemprotan untuk Aplikasi Sumber Energi <i>Base Transceiver Station (BTS)</i> ( <i>Program INSINas Ristek 2014</i> )					2014

## **BAB IV**

### **MANFAAT PENELITIAN**

Rencana penelitian yang disusun diharapkan dapat memberikan dorongan pengembangan penelitian lanjutan mengenai fuel cell di Universitas Sriwijaya (UNSRI) dan merupakan bagian integral dari upaya pengembangan fuel cell di Indonesia, sehingga fuel cell diharapkan mampu menjadi salah satu energi alternatif yang kompetitif baik dari sisi kuantitas, kualitas dan harga energi serta ramah lingkungan. Bagaimanapun, teknologi fuel cell pasti akan hadir di Indonesia dan bahkan sudah mulai dimanfaatkan pada beberapa sektor. Di sisi lain, lemahnya penguasaan teknologi fuel cell membuat posisi tawar Indonesia sangat lemah dalam pengadaan peralatan fuel cell untuk menopang kebutuhan energi yang senantiasa meningkat dari tahun ke tahun.

Penelitian fuel cell yang telah dilakukan selama ini di Universitas Sriwijaya fokus kepada *Membrane Electrode Assembly* (MEA) sebagai pusat reaksi elektrokimia fuel cell. Salah satu kendala dalam penelitian fuel cell adalah ketersediaan gas hidrogen sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, usulan penelitian ini diharapkan dapat menyambungkan mata rantai penelitian fuel cell. Ketersediaan sumber daya alami yang melimpah baik hayati maupun non hayati yang menyimpan hidrogen di Sumatera Selatan menjadi nilai tambah pentingnya penelitian ini dilakukan di Universitas Sriwijaya.

Prospek jangka panjang yang mendukung pentingnya penelitian fuel cell (khususnya PEMFC) adalah mengantisipasi era desentralisasi dan otonomi daerah, yang mana tiap-tiap daerah mempunyai kewenangan untuk mengupayakan penyediaan sumber energi yang memadai untuk daerah masing-masing.

## **BAB V**

### **METODE PENELITIAN**

Tahapan Penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

#### **1. Pembuatan dan karakterisasi katalis Co/C**

Katalis Co/C dibuat dengan melakukan reduksi larutan  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan larutan  $\text{NaBH}_4$  dalam suspensi serbuk karbon vulcan XC-72. Reduksi dilakukan pada pH 10 mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [11]. Karakterisasi yang dilakukan meliputi distribusi partikel menggunakan TEM, struktur kristal dengan XRD, konduktivitas listrik dan pengujian akktivitas katalitik menggunakan metode cyclic voltammetry (CV) serta EIS.

#### **2. Menentukan kandungan optimum katalis Co/C**

Penentuan kandungan katalis optimum dilakukan untuk menentukan kapasitas maksimum katalis yang digunakan dalam mengkatalisis proses hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ .

#### **3. Produksi gas hidrogen pada konsentrasi larutan NaOH yang berlainan**

Produksi gas hidrogen dengan kandungan katalis optimum selanjutnya dilakukan pada konsentrasi larutan NaOH yang berlainan. NaOH diperlukan untuk menghambat reaksi hidrolisis spontan dari  $\text{NaBH}_4$ . Penentuan konsentrasi NaOH terpilih menjadi penting, karena jika NaOH terlalu sedikit, kestabilan larutan  $\text{NaBH}_4$  menjadi rendah, sementara jika terlampaui tinggi menyebabkan proses pelepasan gas hidrogen menjadi lebih sulit.

Penelitian diharapkan dapat dilanjutkan pada tahun berikutnya dengan fokus kepada upaya penyimpanan (storage) gas hidrogen.



**BAB VI**  
**PEMBIAYAAN**

Biaya yang diperlukan untuk penelitian ini meliputi:

1.	Biaya gaji dan Upah	Rp. 14.000.000,-
2.	Biaya bahan habis pakai dan analisis	Rp. 23.500.000,-
3.	Biaya perjalanan	Rp. 5.850.000,-
4.	Lain-lain (ATK, pengolahan data dan publikasi)	<u>Rp. 6.650.000,-</u>
	Total biaya yang diperlukan	Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z-B Wang, P-J Zuo, Y-Y Chu, Y-Y Shao, G-P Yin (2009) Durability studies on performance degradation of Pt/C catalysts of proton exchange membrane fuel cell, *International Journal of Hydrogen Energy* 34: 4387-4394.
- [2] WRW Daud, AB Mohamad, AAH Kadhum, R Chebbi, SE Iyuke (2004) Performance optimisation of PEM fuel cell during MEA fabrication, *Energy Conversion and Management* 45: 3239–3249.
- [3] EYK Andr´e D. Taylor, Virgil P. Humes, Jeremy Kizuka, Levi T. Thompson ( 2007 ) Inkjet printing of carbon supported platinum 3-D catalyst layers for use in fuel cells, *Journal of Power Sources* 171: 101–106.
- [4] M Chisaka, H Daiguji (2006) Effect of glycerol on micro/nano structures of catalyst layers in polymer electrolyte membrane fuel cells, *Electrochimica Acta* 51: 4828-4833.
- [5] JH Nam, K-J Lee, G-S Hwang, C-J Kim, M Kaviany (2009) Microporous layer for water morphology control in PEMFC, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52: 2779-2791.
- [6] L Cindrella, AM Kannan, JF Lin, et al. (2009) Gas diffusion layer for proton exchange membrane fuel cells--A review, *Journal of Power Sources* 194: 146-160.
- [7] F Barbir (2005) Elsevier,
- [8] E Acha, J Requies, MB Güemez, VL Barrio, JF Cambra, PL Arias (2014) Process integration for hydrogen production, purification and storage using iron oxides, *International Journal of Hydrogen Energy* 39: 5257-5266.
- [9] C-C Cormos (2011) Hydrogen production from fossil fuels with carbon capture and storage based on chemical looping systems, *International Journal of Hydrogen Energy* 36: 5960-5971.
- [10] Q Li, H Kim (2012) Hydrogen production from NaBH<sub>4</sub> hydrolysis via Co-ZIF-9 catalyst, *Fuel Processing Technology* 100: 43-48.
- [11] L Yi, L Liu, X Liu, et al. (2012) Carbon-supported Pt–Co nanoparticles as anode catalyst for direct borohydride-hydrogen peroxide fuel cell: Electrocatalysis and fuel cell performance, *International Journal of Hydrogen Energy* 37: 12650-12658.

## LAMPIRAN 1

### 1. Pertimbangan Alokasi Biaya

#### RINCIAN ALOKASI BIAYA PENELITIAN

<b>I. Gaji dan Upah</b>					
No	Pelaksana Kegiatan	Jumlah	Satuan	Honor/Jam (Rp)	TOTAL (Rp)
1	Peneliti Utama (1 orang) 20 jam/minggu	800	jam	12,500	10,000,000
2	Peneliti (1 orang) (10 jam/minggu)	400	jam	10,000	4,000,000
<b>Sub Total I</b>					<b>14,000,000</b>
Keterangan: penelitian berlangsung selama 40 minggu (10 bulan)					
<b>II. Bahan Habis Pakai. Perancangan dan Pembuatan Alat. dan Analisis</b>					
No	Bahan	Jumlah	Satuan	Biaya/satuan (Rp)	TOTAL (Rp)
<b>a. Bahan Habis Pakai</b>					
1	karbon vulcan XC-72R (@250 gram)	1	botol	1,000,000	1,000,000
2	NaBH <sub>4</sub> (100 gram)	2	botol	3,000,000	6,000,000
3	CoCl <sub>2</sub> (100 gram)	1	botol	2,000,000	2,000,000
4	NaOH	1	botol	1,000,000	1,000,000
<b>Sub total II.a</b>					<b>10,000,000</b>
<b>b. Analisis</b>					
1	TEM	10	sampel	500,000	5,000,000
2	CV	10	sampel	300,000	3,000,000
3	XRD	10	sampel	300,000	3,000,000
4	EIS	10	sampel	250,000	2,500,000
<b>Sub Total II.b</b>					<b>13,500,000</b>
<b>III. Perjalanan</b>					
No	Tujuan	Volume	Satuan	Biaya/satuan (Rp)	TOTAL (Rp)
1	Palembang-Jakarta (pp)	1	pp	1,800,000	1,800,000
2	Lumpsum	2	HOK	500,000	1,000,000
3	Akomodasi	2	OH	300,000	600,000
4	Penginapan	2	OH	600,000	1,200,000
5	Pengiriman sampel	5	paket	250,000	1,250,000
<b>Sub Total III</b>					<b>5,850,000</b>
<b>IV. Lain-lain</b>					
No	Komponen	Volume	Satuan	Biaya/satuan (Rp)	TOTAL (Rp)
1	Pengolahan data	1	paket	1,000,000	1,000,000
2	Publikasi Ilmiah	1	paket	5,000,000	5,000,000
3	Tinta printer	1	buah	550,000	550,000
4	Kertas	2	RIM	50,000	100,000

<b>Sub Total IV</b>	<b>6,650,000</b>
<b>TOTAL I + II + III + IV</b>	<b>50,000,000</b>

## LAMPIRAN 2

### CURRICULUM VITAE

#### DATA-DATA PRIBADI

1. Nama : **Dedi Rohendi**  
2. Tempat/tanggal lahir : **Garut / 19 April 1967**  
3. Jenis kelamin/ Satus : **Laki-laki / menikah**  
4. Agama : **Islam**  
5. Unit Kerja : **Jurusan Kimia FMIPA UNSRI**  
6. NIP : **196704191993031001**  
7. NIDN : **0019046705**  
8. Alamat : **Jl. Parameswara  
Lr. Macan Kumbang, no. 55  
  
RT 03/01 Kel. Bukit Baru**
9. Kota / kode Pos : **Palembang / 30139**  
10. Provinsi : **Sumatera Selatan**  
11. Telepon / HP : **+62711445510/+62816383220**  
12. e-mail : **[rohendi\\_dedi@yahoo.co.id](mailto:rohendi_dedi@yahoo.co.id); rohendi19@gmail.com**



#### PENDIDIKAN FORMAL

TAHUN	JENJANG	NAMA	KOTA
1974 - 1980	SD	Lewo I	Garut
1980 - 1983	SMP	N Kurnia	Garut
1983 - 1986	SMA	N 11	Bandung
1986 - 1991	S1	Kimia ITB	Bandung
1999 - 2002	S2	Teknik Kimia UNSRI BKU: Energi	Palembang
		<i>Tesis : Modifikasi pada Sistem Elektroda untuk Meningkatkan Kinerja Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)</i>	

2010 - 2014

S3

Fuel Cell Institute - UKM

Disertasi: *Fabrication of High Current Density Membrane Electrode Assembly (MEA) for Portable Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*

Bangi  
Malaysia

## PENGALAMAN KERJA

TAHUN	KETERANGAN
1993 - Sekarang	Staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA UNSRI  Mata Kuliah: Kimia Dasar, Kimia Fisika, Termodinamika, Elektrokimia, Pengantar Energi
2008 – 2009	<ul style="list-style-type: none"><li>• PIC Program Hibah Kompetisi Institusi UNSRI</li></ul>
2009 – 2010	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koordinator Bidang Penerapan dan Pengembangan Unit Penjaminan Mutu (UPM) UNSRI</li><li>• Koordinator Outreach Program Proyek INDONESIA – Managing Higher Education for Relevance and Efficiency (I-MHERE)</li><li>• Koordinator Data dan Laboratorium PPLH UNSRI</li><li>• Sekretaris Program Hibah manajemen Laboratorium UNSRI</li><li>• Tim Seleksi Beasiswa Penuh Full Fledge Scholarship UNSRI</li><li>• Tutor Universitas Terbuka</li></ul>
2009	Pembangunan pilot project pengolahan air di desa Bumi Rejo Kecamatan Pulau Rimau Banyuasin Sumatera Selatan
2010	Membangun Instalasi Pengolahan air minum di lima desa di Kecamatan Pulau Rimau Banyuasin Sumatera Selatan
2012-2013	Tim Pembuat Golf Cart Fuel Cell UKM

## SEMINAR, TRAINING DAN WORKSHOP

TAHUN	KETERANGAN
-------	------------

---

1994	Training Science Laboratory Management. ITB Bandung
1994	Training Instrumental Analysis, WUTC & UNAND
1995	Training Laboratory Management & Equipment, WUTC & UNAND
1996	Workshop Pengembangan Kurikulum Inti Kimia, Palembang, UNSRI, DGHE & JICA
1997	Workshop Membrane Technology and its Application, Palembang, UNSRI dan Yokohama National University, Japan
1998	Workshop Evaluasi dan Tindak Lanjut Peningkatan Kurikulum Inti Kimia, UNAND, Padang
2000	"Studi Pemanfaatan Sel Bahan Bakar (SBB) sebagai Sumber Daya Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan", seminar reguler di Jurusan Kimia, UNSRI
2004	Pameran, Seminar Rusnas&SUCP serta Open House Puspitek dan Peresmian Pemekaran Kebun Propinsi, Serpong Tangerang
2004	"Studi Penyimpanan Gas Hidrogen sebagai Bahan Bakar Fuel Cell", Seminar Reguler di Jurusan Kimia UNSRI
2004	"Kinetika Reaksi Oksidasi Asam Miristat, Asam Oleat dan Asam Stearat", Seminar Nasional Kimia, UNILA, Lampung, 2004.
2005	Seminar dan kongres Nasional - I Konsorsium Fuel Cell Indonesia, 2005, Jakarta
2005	"Kinetika Reaksi Pelarutan Kalsium Oksida dalam Abu Terbang PLTU Tanjung Enim dengan Pelarut Asam Nitrat", Seminar Forum HEDS, UNJA.
2005	"Studi Pemanfaatan Fuel Cell Suhu Rendah sebagai Sumber Energi Portable dan Otomotif; Kajian Berdasarkan Keunggulan dan Kendala", Seminar Nasional Energi dan Lingkungan, UNSRI, Palembang.
2005	"Prospek dan Kendala Pengembangan Fuel Cell di Indonesia", Seminar Reguler di Jurusan Kimia UNSRI,
2006	Workshop Laboratory Management, Palembang.
2006	Workshop Penelitian Berorientasi Paten, Dikti
2006	Lokakarya Pelatihan Pelatih Penulisan Proposal Penelitian Hibah Kompetitif, Lemlit Unsri.
2006	Pengembangan TOR and SOP , Program Hibah Kompetisi UNSRI
2008	"Pembuatan Elektroda Fuel Cell Menggunakan Katalis Pt/C Hasil Elektrodeposisi Pt pada Backing Layer Karbon dengan Pengikat PTFE"

- Seminar BKS-PTN MIPA, Bengkulu,.
- 2008 Training Penulisan Modul pengajaran di perguruan tinggi, UNSRI
- 2009 Sosialisasi Standardisasi, Palembang, UNSRI & BSN
- 2009 Workshop Audit Mutu Akademik Internal (AMAI), UNSRI
- 2009 Training Internal Audits Laboratories ISO/IEC 17025:2005, Jakarta
- 2010 "Elektrodeposisi Co Pada Backing Layer Pt/C Dengan Pengikat PTFE Sebagai Paduan Katalis Dalam Elektroda Fuel Cell", Seminar BKS-PTN MIPA *Riau*, 10-11 Mei 2010
- 2010 Pelatihan penyusunan dan metodologi penelitian unggulan berpotensi HKI (UBER\_HKI)
- 2010 Workshop Kajian Lingkungan Strategis (KLHS) 2009-2010, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta
- 2010 Forum Amdal Indonesia (FAI) ke-7, Palembang
- 2010 "*Catalyst Effect of Pt and Co to Conductivity, Morphological and OCV of Membrane Electrode Assembly (MEA) for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*", Sriwijaya International Seminar On Energy Science And Technology 2010 (Sisest-2010), Palembang, 3-4 November 2010
- 2011 "*Effect Of PTFE Content And Sintering Temperature On The Properties Of Backing Layer*", International Conference on Fuel Cell & Hydrogen Technology 2011, Kuala Lumpur, 22-23 November 2011
- 2011 "*Characterization Of Electrodes And MEA Performance Test With Varies Platinum Content*", International Conference on Fuel Cell & Hydrogen Technology 2011, Kuala Lumpur, 22-23 November 2011
- 2012 "*Prinsip, Aplikasi dan Perkembangan Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Bersih*" Seminar Nasional Green Energy, Palembang, 30 April 2012
- 2013 *Effects of temperature and backpressure on performance degradation of MEA in PEMFC. The 4th International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (ICFCHT) 2013. Yogyakarta. Oktober 2013.*
- 2013 *Proton Exchange Membrane Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Power System for a Golf Cart . International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (ICFCHT) 2013. Yogyakarta. October 2013*
- 2014 Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Pt-Co/C Dan Pt-Ni/C Untuk Elektroda Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Seminar Insentif Riset SINas 2014, Bandung, 1 dan 2 Oktober 2014.
- 2014 Comparison of the performance of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) electrodes with different carbon powder content and methods
-



of manufacture, INDONESIA - FRANCE Joint Seminar on Technical Challenges in the Field of Renewable Energi 2014 "FUEL CELL AND HYDROGEN TECHNOLOGIES", Jakarta October 14-15

---

## PUBLIKASI

TAHUN	KETERANGAN
2003	"Modification on Electrode System to Increase Performance of Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)", Proceeding Regional Symposium on Chemical Engineering 2003, Manila, Filipina.
2003	"Analisa Konduktivitas Elektroda Fuel Cell dengan Metode Impedance Bridge dan Four Point Probe", Jurnal Forum MIPA, ISSN 1410-1262, Volume 8, 2003
2004	"Kinetika Reaksi Dekomposisi Peroksida dalam Minyak Kelapa dan Minyak Sawit", Laporan Penelitian, DIK-UNSRI, 2004.
2005	Fuel Cell, Sumber Energi Masa Depan (Harian Sumeks), 2005
2005	Biodiesel, BBM Ramah Lingkungan (Harian Sumeks), 2005
2010	"Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C dan Pt/C dan Karakterisasinya", Jurnal penelitian Sains (JPS), Vol. 13 no.2, mei 2010
2010	<i>Rohendi, Dedi. Catalyst Effect of Pt and Co to Conductivity, Morphological and OCV of Membrane Electrode Assembly (MEA) for Proton Exchange Membrane Fuel Fuel (PEMFC), Proceeding Sriwijaya International Seminar On Energy Science And Technology 2010 (Sisest-2010), Palembang, 3-4 November 2010</i>
2013	<i>Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum &amp; L. K. Shyuan. Effects of temperature and backpressure on performance degradation of MEA in PEMFC. Proceeding The 4th International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (ICFCHT) 2013. Yogyakarta. Oktober 2013</i>

---

2013	E.H.Majlan, R.E.Rosli, S.A.A.Hamid, D. Rohendi, W.R.W.Daud, J.Sahari, Proton Exchange Membrane Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Power System for a Golf Cart, <i>Proceeding The 4th International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (ICFCHT) 2013</i> . Yogyakarta. Oktober 2013.
2013	Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum & L. K. Shyuan. 2013. Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions. <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> 38(22): 9431-9437
2014	Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum & L. K. Shyuan. Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer. <i>J. Fuel Cell Sci. Technol</i> 11, 041003 (2014)
2014	Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum & L. K. Shyuan. Electrode For PEMFC: A Review. Submitted to <i>Journal of Material Science</i>
2014	Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum & L. K. Shyuan, Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. Under Review at <i>International Journal of Hydrogen Energy</i>

## HIBAH DAN PENGHARGAAN

TAHUN	KETERANGAN
2005-2007	Pembuatan Elektroda <i>Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)</i> dengan Metode Casting Menggunakan Katalis Pt-Co/C. <b>Hibah Bersaing XIII, DIKTI</b>
2008-2010	Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodeposisi menggunakan Katalis Pt-Cr/C and Pt/C serta Uji Kinerja pada <i>Alkaline Fuel Cell (AFC)</i> , <b>Hibah Bersaing, DIKTI</b> ,
2013	Penghargaan medali emas dan Best of the Best; UKM - FUEL CELL HYDROGEN VEHICLE (UKM-FCHV). <b>Pecipta International Conference and Exposition on Invention of Institutions of Higher Learning</b> 2013. Kuala Lumpur. 7 - 9

---

November 2013

2014

Pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) Kinerja Tinggi dengan Metode Elektrodeposisi dan Penyemprotan untuk Aplikasi Sumber Energi *Base Transceiver Station* (BTS), **Hibah Ristek INSINas 2014**

---

Palembang, Nopember 2014



Dedi Rohendi

BIDANG PENELITIAN: Energi Baru dan Terbarukan

**PRODUKSI GAS HIDROGEN UNTUK *PROTON EXCHANGE*  
*MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC) MELALUI HIDROLISIS  $\text{NaBH}_4$   
DALAM SUASANA BASA MENGGUNAKAN KATALIS Co/C**

**LAPORAN PENELITIAN**



Oleh:

**Dr. Dedi Rohendi, M.T**

**Muhammad Said, M.T.**

Dibiayai oleh Dana DIPA UNSRI No.042.04.2.400089/2016  
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan kegiatan Pekerjaan Penelitian Unggulan  
Kompetitif Universitas Sriwijaya No. 206/UN9.3.1/LT/2015  
Tanggal 17 April 2015

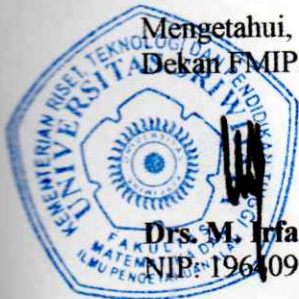
**LEMBAGA PENELITIAN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDERALAYA 2015**

## HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Produksi Gas hidrogen untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) melalui Hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C
2. Bidang Penelitian : Energi Baru dan Terbarukan (Produksi Hidrogen)
3. Ketua Peneliti :
  - a. Nama Lengkap : Dr. Dedi Rohendi, M.T
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 196704191993031001
  - d. Pangkat dan Golongan: Penata / IIIc
  - e. Jabatan Struktural : -
  - f. Jabatan fungsional : Lektor
  - g. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya (UNSRI)
  - h. Fakultas/Jurusan : MIPA / Kimia
  - i. Alamat Kantor : Jl. Palembang-Prabumulih Km 32 Inderalaya Ogan Ilir
  - j. Telpon/Faks : 0711 580269
  - k. Alamat Rumah : Jl. Parameswara Lr. Macan Kumbang no.55 Palembang 30139
  - l. Telpon/HP/e-mail : 0711 445510 / 0816383220 / rohendi19@gmail.com
4. Jangka Waktu Penelitian : 1 (satu) tahun
5. Jumlah yang diajukan : Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

Palembang, 16 Desember 2015

Mengetahui,  
Dekan FMIPA UNSRI



**Drs. M. Irfan, M.T.**  
NIP. 196409131990031003

Peneliti Utama,

**Dr. Dedi Rohendi, M.T**  
NIP: 196704191993031001

Menyetujui,

Ketua Lembaga Penelitian UNSRI



**Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc**  
NIP. 196108121987031003

## IDENTITAS PENELITIAN

1. Judul Usulan:

Produksi Gas hidrogen untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) melalui Hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C.

2. KetuaPeneliti

(a) Nama lengkap : Dr. Dedi Rohendi, M.T  
(b) Bidang keahlian : Fuel Cell / elektrokimia

3. Anggota peneliti

No	Nama dan Gelar	Keahlian	Institusi	Curahan waktu (jam/minggu)
1	M. Said, M.T	Membran	Kimia FMIPA UNSRI	15

4. Isu Strategis : Bahan bakar untuk sumber energi baru ramah lingkungan

5. Topik Penelitian : Gas hidrogen dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  sebagai bahan bakar untuk PEMFC

6. Objek penelitian : Gas hidrogen (meliputi cara mengatur pelepasan hidrogen dari  $\text{NaBH}_4$  dengan menggunakan katalis Co/C)

7. Lokasi penelitian : Jurusan Kimia FMIPA UNSRI

8. Hasil yang ditargetkan : 1. Metode pembuatan katalis dan produksi hidrogen  
2. Jurnal nasional terakreditasi

9. Institusi lain terlibat : Tidak ada

10. Sumber biaya lain : Tidak ada

11. Keterangan lain yang dianggap perlu:

## ABSTRAK

Fuel Cell khususnya *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang banyak menjadi pusat perhatian dan penyelidikan kaitan dengan kemampuan untuk menghasilkan energi yang memadai dari segi kuantitas dan kualitas serta ramah lingkungan. Aplikasi PEMFC sebagai sumber energi diarahkan untuk kendaraan, perangkat mudah alih dan sumber energi untuk perumahan. Salah satu kendala penggunaan PEMFC sebagai penghasil energi yang bersih adalah penyediaan gas hidrogen sebagai bahan bakar yang meliputi produksi dan penyimpanan hidrogen. Hidrogen dapat diproduksi melalui beberapa cara, antara lain elektrolisis, reformasi gas alam, dan dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Pada penelitian ini diusulkan untuk melakukan kajian produksi gas hidrogen dari hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Karena reaksi hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  relatif mudah berlangsung secara spontan, maka perlu dilakukan kajian agar dapat mengatur pelepasan gas hidrogen sesuai keperluan. Pengaturan dilakukan dengan menambahkan katalis Co dalam matriks serbuk karbon (Co/C). Kajian meliputi pengaruh kandungan NaOH dan katalis terhadap produksi gas hidrogen. Berdasarkan hasil penelitian, katalis dengan kandungan Co 30% menghasilkan katalis terbanyak dengan aktifitas relatif tertinggi. Sementara itu, hasil analisis XRD menunjukkan bahwa katalis Co terdeteksi pada  $2\theta \sim 44,7^\circ$  dan  $46,16^\circ$  serta  $52,7^\circ$  serta karbon aktif (C) terdeteksi pada  $2\theta \sim 26^\circ$ . Hasil analisis Cyclic Voltammetry (CV) menunjukkan bahwa katalis Co/C dengan kandungan mulai 20% mempunyai aktifitas katalitik yang cukup tinggi. Berdasarkan analisis produksi gas hidrogen, Kandungan NaOH optimum untuk menghambat hidrolisis spontan adalah 0,3 M dan kandungan katalis optimum untuk melepaskan gas hidrogen adalah katalis dengan kandungan Co/C 30% b/b.

## **KATA PENGANTAR**

Syukur alhamdulillah penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena telah menyelesaikan seluruh rangkaian penelitian Hibah Kompetitif UNSRI tahun 2015 ini.

Laporan akhir ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban penyusun sebagai koordinator peneliti sesuai dengan persyaratan yang diminta oleh panitia.

Penyusun menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui Universitas Sriwijaya yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melaksanakan penelitian Hibah Kompetitif UNSRI tahun ini.
2. Tim anggota peneliti dan staf teknis yang telah membantu kelancaran penelitian ini.
3. Jurusan Kimia FMIPA UNSRI yang telah menyediakan fasilitas penelitian.

Besar harapan, laporan ini dapat memenuhi syarat sebagai pertanggungjawaban pelaksanaan penelitian. Atas perhatian dan kepercayaannya, penyusun sampaikan terima kasih.

Palembang, 16 Desember 2015

Penyusun



## DAFTAR ISI

Halaman Penegasahan .....	i
Identitas Penelitian .....	ii
Abstrak .....	iii
Kata pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	v
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Khusus .....	2
1.3. Urgensi Penelitian .....	2
<b>BAB 2. STUDI PUSTAKA</b>	
2.1. Prinsip dan Karakterisasi PEMFC .....	3
2.2. Produksi dan Penyimpanan Gas Hidrogen .....	7
<b>BAB 3. PETA JALAN PENELITIAN .....</b>	<b>9</b>
<b>BAB 4. METODE PENELITIAN</b>	
4.1. Pembuatan dan karakterisasi katalis Co/C .....	10
4.2. Menentukan kandungan optimum katalis Co/C .....	11
4.3. Produksi gas hidrogen pada konsentrasi larutan NaOH yang berlainan .....	11
<b>BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1. Pembuatan dan Karakterisasi Katalasi Co/C .....	12
5.2. Produksi Gas Hidrogen .....	18
<b>BAB 6. KESIMPULAN .....</b>	<b>22</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>23</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>24</b>
<b>LUARAN .....</b>	<b>27</b>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Semakin terbatasnya cadangan minyak bumi dan semakin bertambahnya polusi udara yang disebabkan oleh pemakaian energi berbasis bahan bakar fosil memacu para ilmuwan untuk mencari sumber energi alternatif yang memadai baik secara kualitas maupun kuantitas serta ramah lingkungan sehingga dapat membantu mengatasi terjadinya krisis energi dan krisis lingkungan.

Salah satu sumber bahan bakar alternatif masa depan adalah gas hidrogen. Gas hidrogen berpotensi menggantikan bahan bakar fosil karena mempunyai karakteristik kerapatan energi yang besar dan tidak mengandung unsur karbon yang dapat mengemisikan CO<sub>2</sub> atau CO ke atmosfer. Hidrogen sebagai pembawa energi merupakan pilihan yang paling atraktif. Saat gas hidrogen "dibakar", baik secara elektrokimia dalam *fuel cell* atau secara konvensional dalam mesin pembakar internal tidak menghasilkan emisi karbon melainkan hanya air sebagai produk samping.

Diantara kendala pemanfaatan gas hidrogen sebagai sumber bahan bakar alternatif adalah gas hidrogen tidak terdapat di alam dalam keadaan bebas melainkan tersedia dalam bentuk senyawa seperti dalam air atau senyawa hidrokarbon. Untuk memisahkan hidrogen dari senyawa tersebut dibutuhkan energi lain. Selain itu, kerapatan masa yang kecil dan kemudahan terbakar menjadi kendala lain.

Gas hidrogen dapat diperoleh dengan berbagai metode antara lain seperti metode gas air, metoda kukus hidrokarbon, metoda elektrolisis air dan hidrolisis senyawa yang mengandung hidrogen misalnya NaBH<sub>4</sub>. Metoda elektrolisis air merupakan metoda yang menghasilkan hidrogen dan oksigen murni, sementara metode gas air dan metoda kukus hidrokarbon masih menghasilkan emisi karbon sebagai produk samping karena bahan bakunya berasal dari senyawa hidrokarbon.

Salah satu alternatif produksi gas hidrogen adalah dari reaksi hidrolisis NaBH<sub>4</sub>. Akan tetapi, reaksi hidrolisis NaBH<sub>4</sub> berlangsung spontan sehingga sulit untuk menahan dan melepaskan gas hidrogen sesuai keinginan. Salah satu upaya untuk menahan proses hidrolisis spontan adalah dengan menambahkan NaOH dan upaya pelepasan hidrogen dari larutan

$\text{NaBH}_4$  dalam suasana alkali dapat dilakukan dengan bantuan katalis. Kajian untuk menentukan pengaruh dari penambahan  $\text{NaOH}$  dalam menahan pelepasan hidrogen dan katalis untuk membantu melepaskan hidrogen perlu dilakukan.

## **1.2. Tujuan Khusus**

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- a. Membuat dan mengkarakterisasi katalis  $\text{Co/C}$
- b. Menentukan kandungan optimum katalis  $\text{Co/C}$
- c. Menyelidiki pengaruh kandungan  $\text{NaOH}$  terhadap produksi gas hidrogen

## **1.3. Urgensi Penelitian**

Pesatnya penelitian untuk memanfaatkan fuel cell terutama PEMFC harus diimbangi dengan penyediaan gas hidrogen sebagai bahan bakar yang memadai. Penelitian yang dilakukan oleh peneliti selama ini fokus kepada penelitian peralatan fuel cell terutama *Membrane Electrode Assembly* (MEA) sebagai komponen terpenting dari PEMFC. Penelitian tentang produksi hidrogen mempunyai urgensi dalam penyediaan gas hidrogen yang memadai sebagai bahan bakar untuk PEMFC. Penggunaan  $\text{NaBH}_4$  sebagai prekursor untuk menghasilkan gas hidrogen bertujuan untuk mereduksi ukuran fuel cell secara keseluruhan, terutama jika akan menggunakan PEMFC dalam perangkat mudah alih.

Usulan penelitian lanjutan rencananya akan dilakukan tahun berikutnya dengan fokus penelitian pada upaya penyimpanan (*storage*) hidrogen.

## **BAB 2**

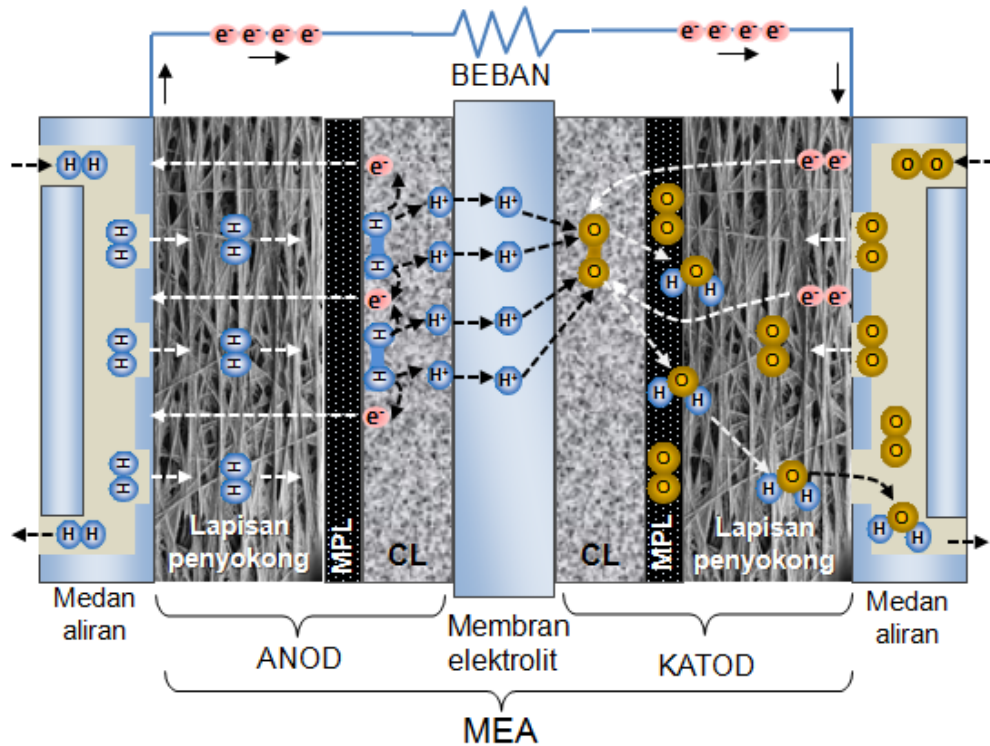
### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. Prinsip dan Karakterisasi PEMFC**

PEMFC adalah fuel cell yang menghasilkan energi listrik dari reaksi elektrokimia antara gas hidrogen sebagai bahan bakar dan oksigen sebagai pengoksidasi melalui lapisan katalis yang terdapat pada kedua elektroda (katoda dan anoda) dan menggunakan membran penukar proton sebagai elektrolit [1].

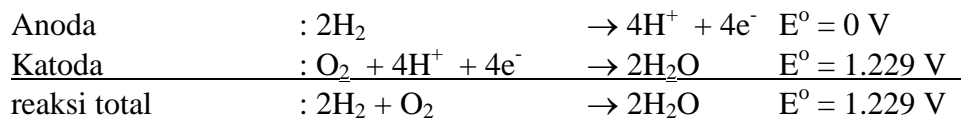
PEMFC digunakan secara meluas sebagai salah satu peralatan penukaran energi yang menjanjikan untuk kendaraan, pembangkit dan sistem mudah alih karena kerapatan kuasa yang tinggi, efisiensi energi yang tinggi, tidak ada pelepasan pencemar dan suhu operasi yang rendah [1-5]. Keberhasilan pengkomersilan PEMFC terletak kepada kemampuannya untuk menunjukkan prestasi yang optimum dalam menukar gas hidrogen sebagai bahan bakar menjadi energi listrik dengan kerapatan arus yang tinggi [6].

Sesuai namanya, PEMFC merupakan fuel cell yang mengubah gas hidrogen dan oksigen menjadi air dan listrik melalui serangkaian reaksi yang diawali dengan pengubahan gas hidrogen menjadi proton (ion  $H^+$ ) di anoda untuk selanjutnya akan melakukan reaksi elektrokimia dengan oksigen di katoda melalui suatu membran elektrolit polimer. Gambaran prinsip kerja dan komponen daripada PEMFC ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Proses reaksi elektrokimia dan komponen daripada PEMFC.

Seluruh proses reaksi elektrokimia terjadi di dalam MEA mengikuti persamaan sebagai berikut:



Merujuk persamaan di atas, ion  $\text{H}^+$  dari anoda akan mengalir melalui membran elektrolit ke katoda dan elektron akan mengalir melalui anoda ke pengumpul arus, selanjutnya akan mengalir ke katoda melalui beban. Oksigen, ion  $\text{H}^+$  dan elektron di katoda kemudian akan bereaksi menghasilkan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Adanya aliran elektron dalam reaksi elektrokimia memberikan gambaran terjadinya perubahan energi kimia menjadi energi listrik.

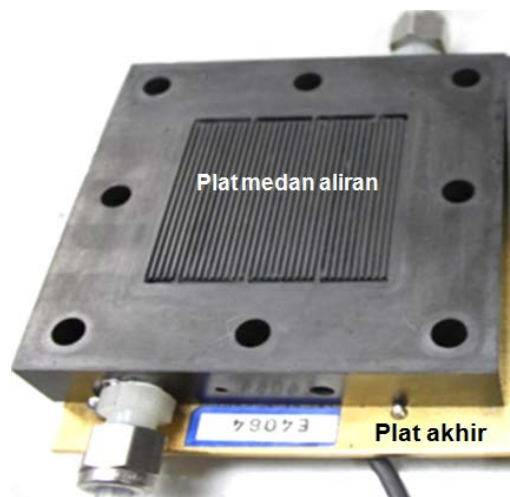
Komponen umum dari PEMFC seperti ditunjukkan dalam gambar 1 adalah:

**a. Plat Medan Aliran (*flow field plate*) dan Plat Akhir (*end plate*)**

Plat medan aliran mempunyai empat fungsi, iaitu; sebagai pengumpul dan pengalir arus, penyedia laluan bahan reaksi, pemisah antara sel dalam stek dan sebagai penyokong MEA. Plat medan aliran umumnya dibuat dari bahan komposit grafit dengan epoksi sebagai pengikat dan pengisinya. Plat medan aliran harus mempunyai

sifat mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi dan permeabilitas gas yang rendah. Sementara itu, plat akhir berfungsi sebagai penahan PEMFC dan pengalir elektron. Contoh gambar plat medan aliran dan plat akhir dari PEMFC sel tunggal dan dikeluarkan oleh perusahaan Electrochem Inc. (Amerika Serikat) ditunjukkan dalam gambar 2.

Pada PEMFC multi stek, plat medan aliran mempunyai dua sisi, yaitu satu sisi berada pada anoda (kutub - ) tempat mengalirnya hidrogen dan lepasnya elektron, dan sisi lainnya pada katoda (kutub + ) tempat mengalirnya udara dan masuknya elektron dari sisi anoda. Dengan demikian, plat medan aliran untuk PEMFC multi stek disebut juga plat dwikutub.

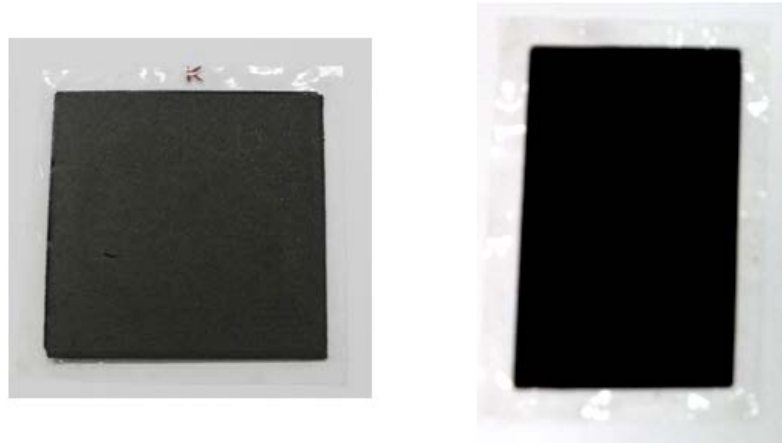


Gambar 2. Contoh gambar plat medan aliran dan plat akhir untuk stek PEMFC tunggal (Fuel Cell Store, Amerika Serikat).

## b. MEA

MEA merupakan pusat reaksi elektrokimia perubahan gas hidrogen dan oksigen menjadi air dan arus listrik. MEA terdiri dari dua buah elektroda (anoda dan katoda) yang mengapit membran polimer. Elektroda sendiri terdiri daripada beberapa lapisan, yaitu lapisan penyokong, *Microporous Layer* (MPL) dan *Catalyst Layer* (CL). Anoda berfungsi sebagai tempat pengoksidasian gas hidrogen menjadi ion  $H^+$  dan katoda tempat reduksi gas oksigen menjadi  $H_2O$ , sementara membran berfungsi untuk mengalirkan ion  $H^+$  dari anoda ke katoda.

Contoh gambar dari MEA ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Contoh gambar MEA untuk PEMFC.

MEA merupakan komponen paling penting dalam sebuah PEMFC, karenanya menjadi tumpuan para peneliti dalam usaha untuk membangun MEA dengan ketumpatan arus dan ketahanan yang tinggi.

Pemanfaatan PEMFC mempunyai beberapa keuntungan, antaranya;

- a. Elektrolit berupa polimer padatan yang bersifat mantap, tidak bergerak, tipis, tidak menguap dan mempunyai kerintangan elektronik serta kekonduksian ionik yang tinggi,
- b. Suhu operasi yang rendah memudahkan pengurusan dan memulai operasi serta mengurangi biaya,
- c. Pencemaran minim karena hasil sampingannya hanyalah air dan sedikit kalor,
- d. Tidak ada bagian yang dapat terkikis.

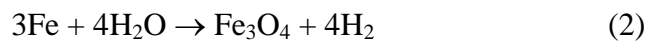
Sementara itu, kelemahan dari PEMFC diantaranya;

- a. Polimer elektrolit harus dalam bentuk hidrat sehingga harus dijaga kelembabannya. Oleh karena itu, suhu operasi tidak boleh terlampaui tinggi dan juga tidak boleh terlampaui rendah.
- b. PEMFC menghendaki penggunaan bahan bakar hidrogen murni. Kehadiran CO dalam campuran bahan bakar dapat menghalangi reaksi di anoda walaupun tingkat halangan akan menurun dengan naiknya suhu operasi [7].

## 2.2. Produksi dan Penyimpanan Gas Hidrogen

Saat ini, produksi gas hidrogen paling berasal dari gas alam melalui proses reformasi uap metana. Walaupun teknologi ini sudah teruji, akan tetapi memerlukan energi yang besar, sebab proses reaksinya endotermik. Salah satu alternatif untuk mengurangi konsumsi energi dalam produksi hidrogen melalui proses reforming ini adalah oksidasi parsial metana terkatalitik, yang mencakup proses oksidasi parsial kering dan basah [8].

Kajian yang telah dilakukan dalam mempelajari produksi gas hidrogen melalui reformasi gas alam telah dilakukan oleh Cormos [9]. Cosmos melakukan proses reformasi gas alam menggunakan senyawa besi oksida melalui reaksi:



Oksida besi direduksi oleh metana menghasilkan unsur besi (reaksi 1), kemudian besi akan dihidrolisis menghasilkan gas hidrogen dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kembali (reaksi 2).

Selain reformasi metana, produksi hidrogen juga bisa dilakukan dengan menangkap gas CO menggunakan oksida besi melalui persamaan:

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3 \text{Fe} + 4\text{CO}_2$  , selanjutnya besi (Fe) dihidrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen seperti reaksi (2).

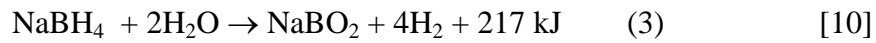
Reaksi redoks untuk menghasilkan gas hidrogen dari reaksi reformasi metana seperti dijelaskan di atas berlangsung pada suhu tinggi sehingga memungkinkan terjadinya penurunan kinerja dari oksida besi akibat perubahan struktur oksida besi. Untuk itu, Acha [8] menambahkan aditiv kromium pada campuran oksida besi-alumina.

Metode produksi gas hidrogen yang lain adalah produksi gas hidrogen melalui hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ . Produksi gas hidrogen melalui hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  memiliki beberapa keuntungan, antara lain [10]:

1. Proses pelepasan hidrogen dari  $\text{NaBH}_4$  dapat diikuti dengan proses penangkapan kembali gas hidrogen oleh  $\text{NaBO}_2$  yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis  $\text{NaBH}_4$  sehingga metode ini menggabungkan antara proses produksi dan penyimpanan hidrogen
2. Kecepatan pengontrolan hidrolisis
3. Kestabilan yang tinggi
4. Tingkat eksotermis yang moderat

Reaksi pelepasan gas hidrogen melalui proses hidrolisis terkatalitik  $\text{NaBH}_4$  adalah sebagai berikut:





Reaksi (3) berlangsung secara eksotermis dan dapat terjadi tanpa bantuan katalis. Supaya larutan  $\text{NaBH}_4$  dalam air dapat disimpan dengan aman, maka  $\text{NaOH}$  biasanya ditambahkan untuk mencegah terjadinya pelepasan hidrogen secara spontan. Reaksi pelepasan hidrogen dalam larutan  $\text{NaBH}_4$  alkalis dapat dilakukan dengan bantuan katalis [10]. Penggunaan berbagai jenis katalis telah dilakukan. Salah satu katalis yang relatif murah dan aktifitas tinggi adalah kobal (Co).

### BAB 3

#### PETA JALAN PENELITIAN

Penelitian dan Publikasi	Tahun					
Modifikasi pada Sistem Elektroda dalam Upaya Meningkatkan Kinerja Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) ( <i>Tesis S2</i> )	2002					
Pembuatan Elektroda Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) Dengan Metode Casting Menggunakan Katalis Pt-Co/C ( <i>Hibah Bersaing</i> )		2004-2006				
Produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air, larutan asam dan methanol (Skripsi mahasiswa S1)			2007			
Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Fuel Cell dengan katalis Pt-Cr/C dan Pt/C Hasil Elektrodeposisi serta Penerapannya pada <i>Alkaline Fuel Cell (AFC)</i> ( <i>Hibah Bersaing</i> )			2007 - 2009			
Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions, <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> , 38 (2013), 9431- 9437				2013		
Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer, <i>Journal of Science and Technology</i> , 11 (2014)					2014	
Fabrication of High Current Density MEA for Portable PEMFC (Disertasi S3)					2014	
Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA) Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i> Kinerja Tinggi dengan Metode Elektrodeposisi dan Penyemprotan untuk Aplikasi Sumber Energi <i>Base Transceiver Station (BTS)</i> ( <i>Program INSINas Ristek 2014</i> )					2014	
Produksi Gas hidrogen untuk <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i> melalui Hidrolisis $\text{NaBH}_4$ dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C ( <i>Hibah Kompetitif UNSRI 2015</i> )						2015
D. Rohendi, E.H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum, L. K. Shyuan, Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC, <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> , 40 ( 2015 ) 10960-10968.						2015

## BAB 4

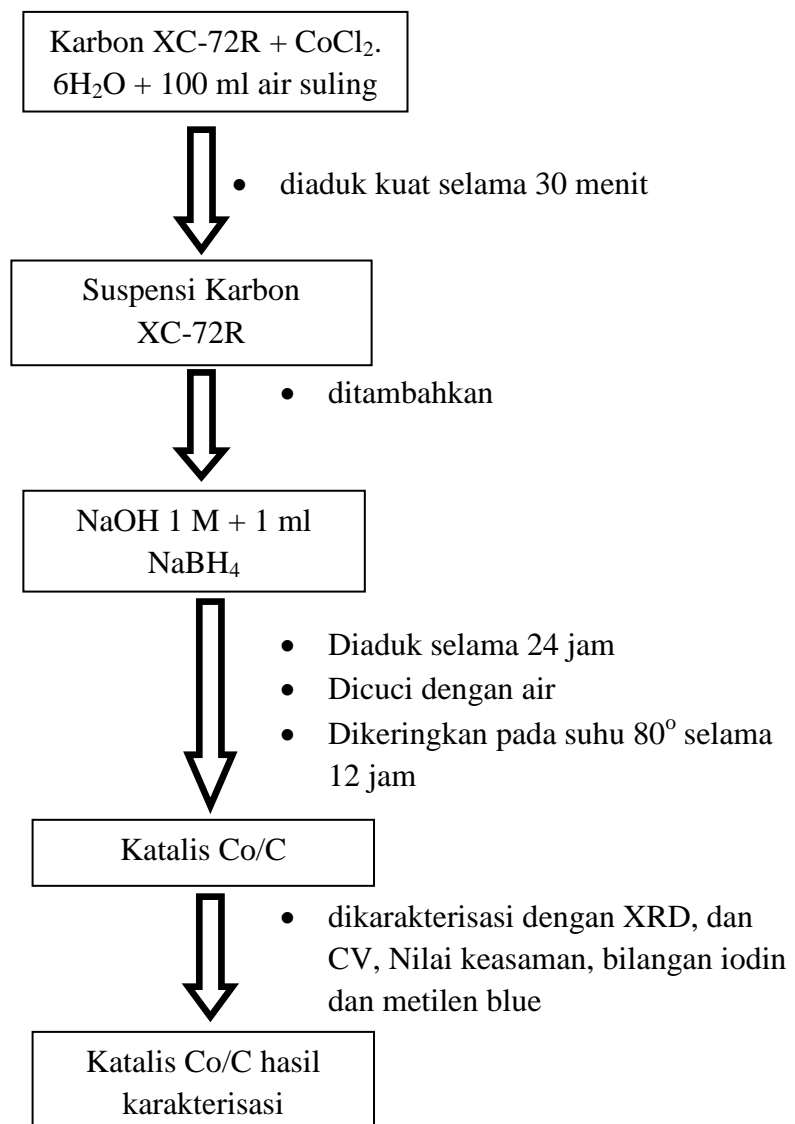
### METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 4.1. Pembuatan dan karakterisasi katalis Co/C

Katalis Co/C dibuat dengan melakukan reduksi larutan  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan larutan  $\text{NaBH}_4$  dalam suspensi serbuk karbon vulcan XC-72. Reduksi dilakukan pada pH 10 mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [11]. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis keasaman, luas permukaan dan volume pori, struktur kristal dengan XRD, konduktivitas listrik dan pengujian aktivitas katalitik menggunakan metode cyclic voltammetry (CV).

Diagram alir prosedur adalah sebagai berikut:



#### **4.2. Menentukan kandungan optimum katalis Co/C**

Penentuan kandungan katalis optimum dilakukan untuk menentukan kapasitas maksimum katalis yang digunakan dalam mengkatalisis proses hidrolisis  $\text{NaBH}_4$ .

#### **4.3. Produksi gas hidrogen pada konsentrasi larutan NaOH yang berlainan**

Produksi gas hidrogen dengan kandungan katalis optimum selanjutnya dilakukan pada konsentrasi larutan NaOH yang berlainan. NaOH diperlukan untuk menghambat reaksi hidrolisis spontan dari  $\text{NaBH}_4$ . Penentuan konsentrasi NaOH terpilih menjadi penting, karena jika NaOH terlalu sedikit, kestabilan larutan  $\text{NaBH}_4$  menjadi rendah, sementara jika terlampaui tinggi menyebabkan proses pelepasan gas hidrogen menjadi lebih sulit.

Penelitian diharapkan dapat dilanjutkan pada tahun berikutnya dengan fokus kepada upaya penyimpanan (storage) gas hidrogen.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pembuatan dan Karakterisasi katalis Co/C

Pembuatan katalis Co/C dilakukan dengan metode impregnasi dilanjutkan dengan metode reduksi menggunakan  $\text{NaBH}_4$  sebagai pereduksi. Data hasil ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pembuatan Katalis Co/C

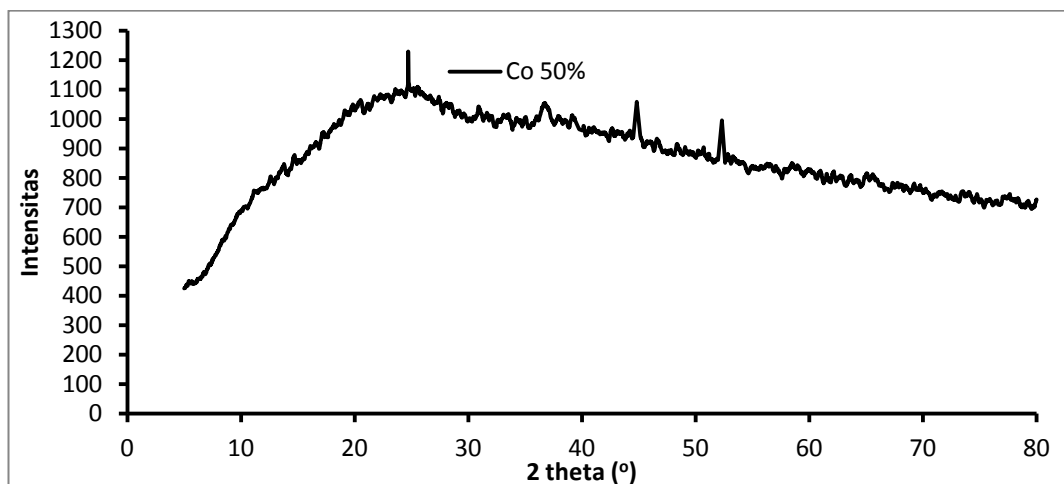
No.	Berat total Co/C (g)	Variasi Kandungan Co dalam Katalis (g)	Volume $\text{NaBH}_4$ (mL)	pH	Katalis Co/C yang didapat (g)
1.	1	0,1 (10% b/b)	10	9,8	1,0492
2.	1	0,2 (20% b/b)	10	10,4	1,1634
3.	1	0,3 (30% b/b)	10	10,6	1,2043
4.	1	0,4 (40% b/b)	10	9,7	1,0879
5.	1	0,5 (50% b/b)	10	9,8	1,0866

Berdasarkan tabel hasil pembuatan katalis Co/C, dapat diketahui bahwa jumlah katalis yang optimum dihasilkan dari katalis yang memiliki kandungan kobal dalam karbon sebesar 30% atau sebanyak 0,3 gram.

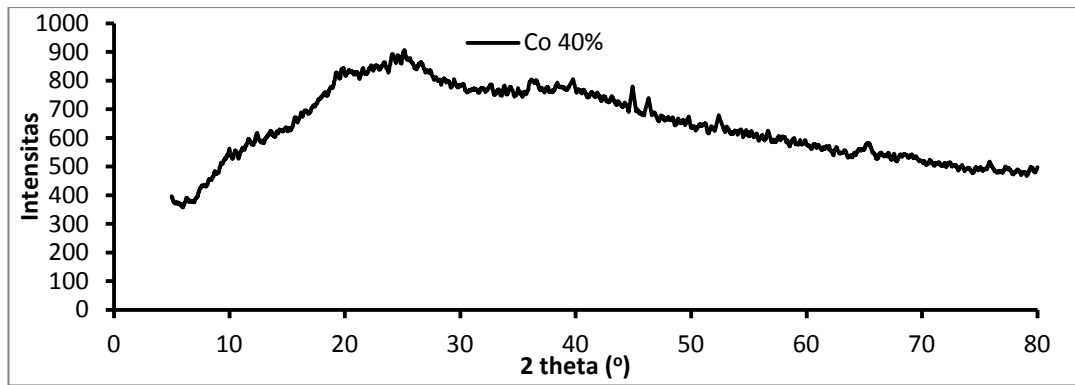
##### 5.1.1 Karakterisasi Katalis Co/C

###### 1) Analisis XRD

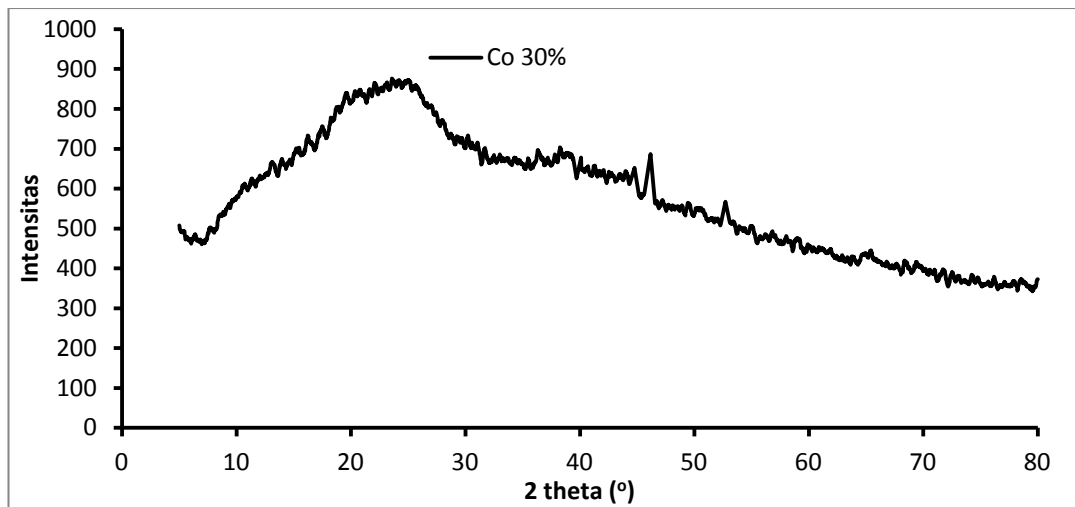
Analisis XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Analisa UGM untuk menentukan keberadaan Co dalam struktur katalis. Data hasil pengamatan ditampilkan pada gambar 4 s.d. 8 di bawah ini.



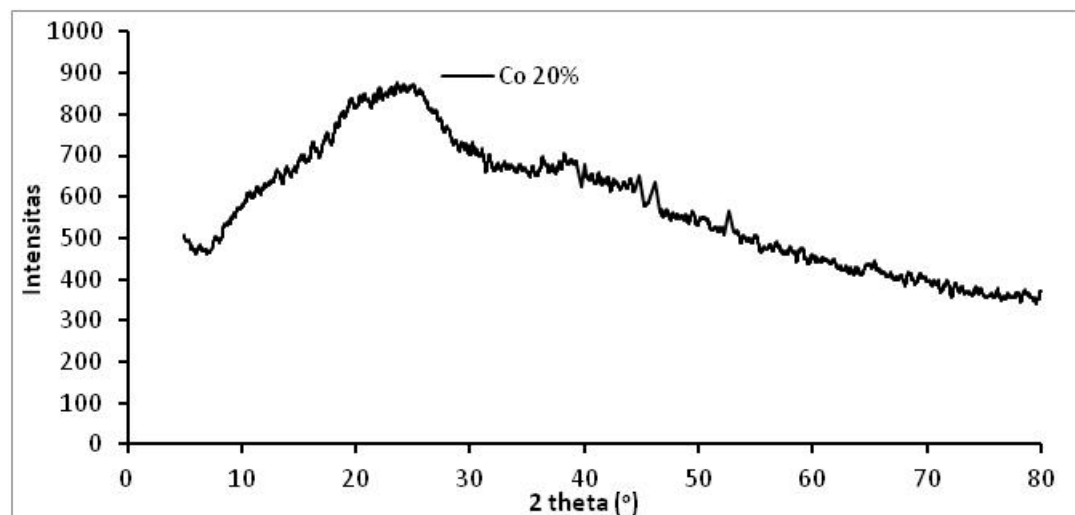
Gambar 4. Spektrum XRD dari katalis Co/C dengan kandungan Co 50%



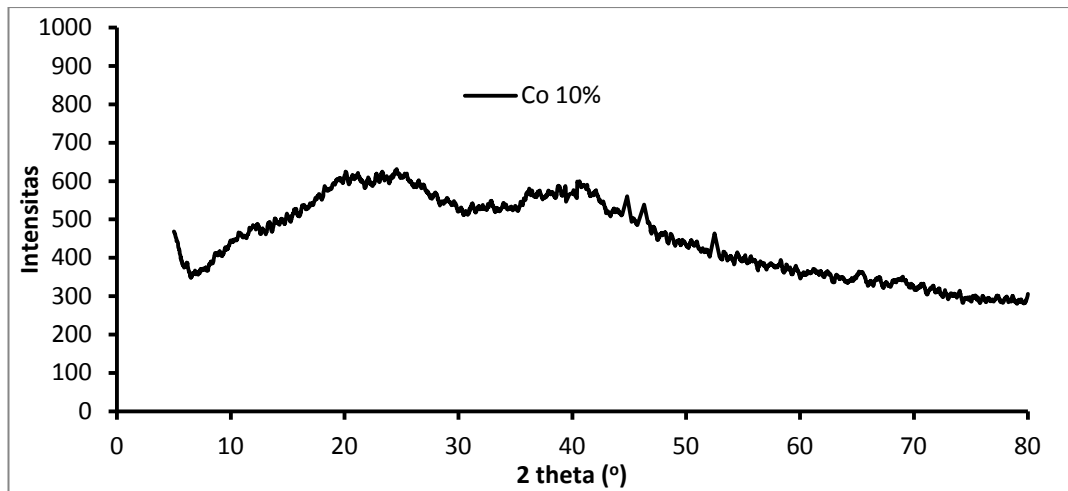
Gambar 5. Spektrum XRD dari katalis Co/C dengan kandungan Co 40%



Gambar 6. Spektrum XRD dari katalis Co/C dengan kandungan Co 30%



Gambar 7. Spektrum XRD dari katalis Co/C dengan kandungan Co 20%

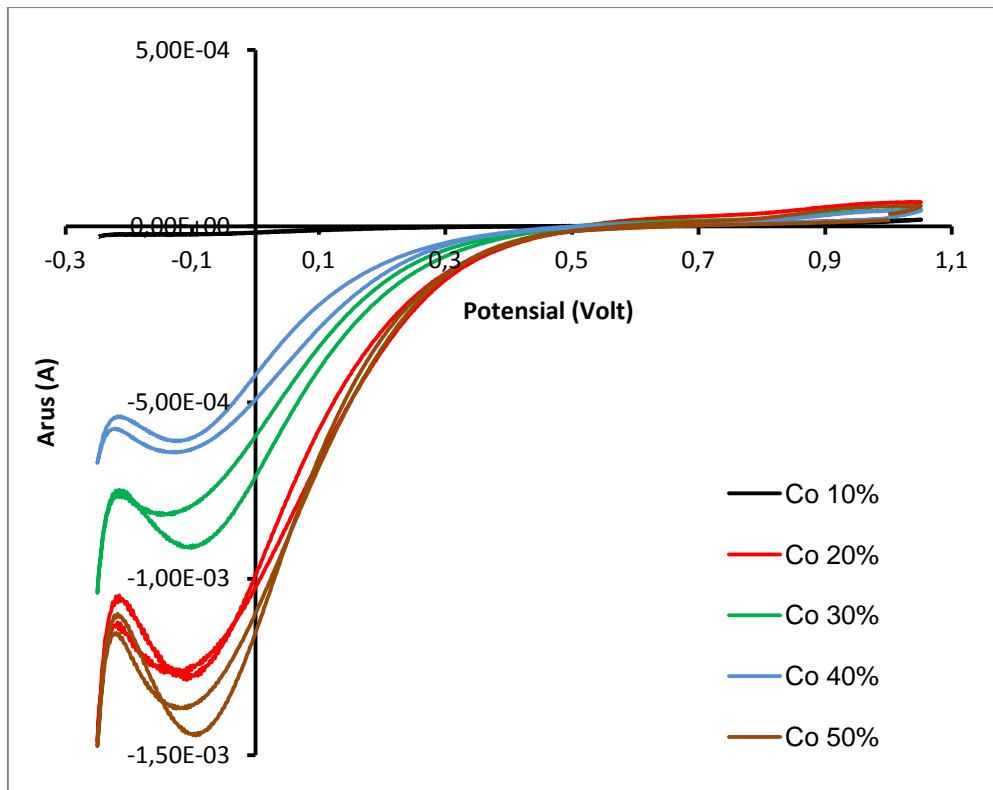


Gambar 8. Spektrum XRD dari katalis Co/C dengan kandungan Co 10%

Berdasarkan hasil analisis XRD dapat ditunjukkan beberapa puncak kateistik, yaitu puncak pada daerah  $2\theta \sim 26^\circ$  merupakan puncak khas untuk karbon aktif (C). sementara puncak pada  $2\theta \sim 44,7^\circ$  dan  $46,16^\circ$  serta  $52,7^\circ$  adalah puncak khas untuk Co. Berdasarkan hasil analisis XRD pula terlihat bahwa katalis dengan komposisi Co 30 % mempunyai intensitas yang cukup tinggi.

## 2) Analisis Cyclic Voltammetry (CV)

Analisis voltammetry digunakan untuk melihat aktifitas katalitik dari katalis yang dibuat. Hasil kompilasi pengukuran CV ditunjukkan pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Pola spektrum CV dari katalis Co/C dengan kandungan CO bervariasi

Berdasarkan gambar 9 terlihat bahwa katalis dengan kandungan 20 s.d. 50% mempunyai aktifitas katalitik yang besar, terlihat dari terpisahnya puncak katodik dan anodik.

### 3) Penentuan Bilangan Iodin

Bilangan iodin dapat digunakan sebagai pendekatan untuk luas permukaan dan mikropori karbon aktif dengan presisi yang baik. Suhu Karbonisasi mempunyai pengaruh yang signifikan pada pembentukan pori karbon aktif.

Penentuan bilangan iodin bersama-sama bilangan metilen blue digunakan untuk menentukan luas permukaan, volume pori mikro dan volume total pori dari katalis yang digunakan. Parameter pori akan menentukan daya serap katalis terhadap reaktan.

Hasil perhitungan bilangan iodin untuk katalis Co/C dengan kandungan Co bervariasi ditunjukkan pada tabel 2 di bawah ini.



Tabel 2. Penentuan Bilangan Iodin

No.	Berat Katalis Co/C (g)	Berat Karbon Aktif (g)	Volume Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mL)	Konsentrasi Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (N)	Bilangan Iodin
1.	0,0125	-	33,4	0,1	3390,768
2.	0,0268	-	39,5	0,1	1870,354
3.	0,0109	-	43,5	0,1	5064,357
4.	0,0105	-	40,6	0,1	4906,800
5.	-	0,0105	36,8	0,1	4447,542

Bilangan iodin dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{w}$$

Dimana 126,9 adalah berat ekuivalen iodine,  $V_{Na_2S_2O_3}$  adalah volume Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam mL,  $N_{Na_2S_2O_3}$  adalah normalitas Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan w adalah berat karbon aktif yang digunakan.

1. Untuk katalis I

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{W}$$

$$IN = \frac{126,9 \times 33,4 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100 \times 10^{-3}}{0,0125 \text{ g}}$$

$$= 3390,768$$

2. Untuk Katalis II

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{W}$$

$$IN = \frac{126,9 \times 39,5 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100 \times 10^{-3}}{0,0268 \text{ g}}$$

$$= 1870,354$$

3. Untuk Katalis III

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{W}$$

$$IN = \frac{126,9 \times 43,5 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100 \times 10^{-3}}{0,0109 \text{ g}}$$

$$= 5064,3577$$

4. Untuk Katalis Co/C IV

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{W}$$

$$IN = \frac{126,9 \times 40,6 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100 \times 10^{-3}}{0,0105 \text{ g}}$$

$$= 4906,800$$

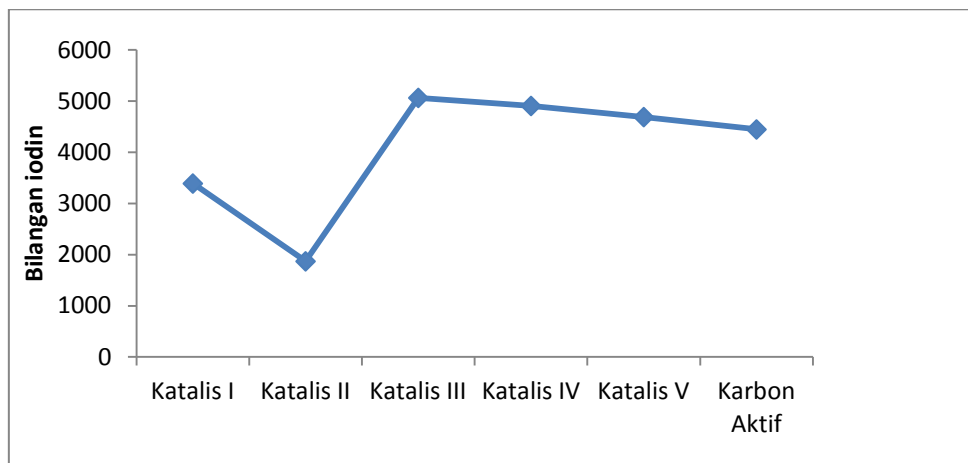
5. Untuk Karbon Aktif sebagai Pembanding

$$IN = \frac{126,9 \times V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 100 \times 10^{-3}}{W}$$

$$IN = \frac{126,9 \times 36,8 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100 \times 10^{-3}}{0,0105 \text{ g}}$$

$$= 4447,542$$

Besaran bilangan iodin untuk masing-masing komposisi katalis disajikan dalam gambar 10.



Gambar 10. Nilai bilangan iodin pada berbagai komposisi katalis

Berdasarkan gambar 10, bilangan iodin tertinggi didapatkan pada komposisi katalis 30%. Hal ini sesuai dengan kandungan Co optimum.

#### 4) Penentuan Bilangan Asam

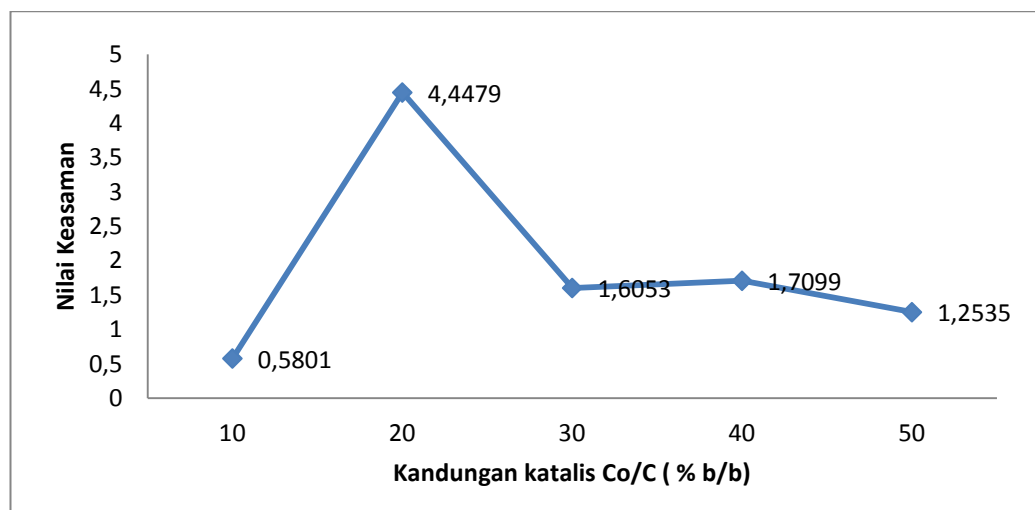
Penentuan nilai keasaman terhadap karbon aktif dan katalis Co/karbon aktif dilakukan dengan penyerapan gas amonia yang memungkinkan untuk dapat masuk ke dalam pori-pori karbon aktif dan katalis Co/karbon aktif. Jumlah amonia yang terserap per gram sampel merupakan ukuran nilai keasaman dari karbon aktif dan

katalis Co/karbon aktif. Data hasil penentuan bilangan asam disajikan dalam tabel 3 dan gambar 11.

Tabel 3. Hasil Analisis Keasaman Katalis Co/C

Katalis (% b/b)	$W_{\text{sebelum adsorpsi}} \text{ (g)}$	$W_{\text{setelah adsorpsi}} \text{ (g)}$	$W_{\text{NH}_3} \text{ (g)}$	Keasaman
10	0,0507	0,0512	0,0005	0,5801
20	0,0529	0,0569	0,004	4,4479
30	0,0513	0,0527	0,0014	1,6053
40	0,0516	0,0531	0,0015	1,7099
50	0,0515	0,0526	0,0011	1,2535

Berdasarkan nilai data keasaman terlihat bahwa katalis dengan komposisi 20% mempunyai nilai keasaman tertinggi.



Gambar 11. Nilai Keasaman katalis pada berbagai kandungan Co/C

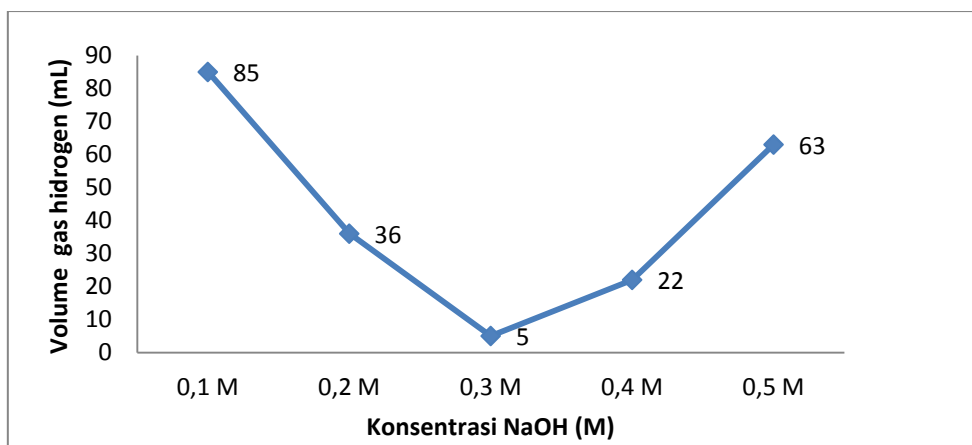
## 5.2 Produksi Hidrogen

### 5.2.1 Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Produksi Gas Hidrogen

NaOH diperlukan untuk menghambat proses hidrolisis spontan  $\text{NaBH}_4$ . Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap produksi gas hidrogen disajikan dalam tabel 4 dan gambar 12.

Tabel 4. Pengukuran gas  $\text{H}_2$  dengan variasi konsentrasi NaOH

No.	Variasi konsentrasi NaOH	Volume $\text{H}_2$ yang didapatkan	Waktu (det)
1.	0,1 M	85 mL	34,68
2.	0,2 M	36 mL	56,97
3.	0,3 M	5 mL	178,96
4.	0,4 M	22 mL	292,13
5.	0,5 M	63 mL	372,43



Gambar 12. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap produksi gas hidrogen

Jika dilihat dari data di atas, dapat diketahui bahwa NaOH dengan konsentrasi 0,1 M menghasilkan gas H<sub>2</sub> paling banyak di antara konsentrasi lainnya dalam waktu 90 menit. Selang waktu timbulnya gelembung gas H<sub>2</sub> adalah 34,68 detik. Sementara jika dilihat dari lamanya selang waktu, konsentrasi NaOH yang paling menghambat produksi hidrogen adalah NaOH dengan konsentrasi 0,5 M yaitu setelah selang waktu 6 menit 12 detik. Tetapi, volume gas hidrogen yang paling sedikit dihasilkan adalah pada NaOH dengan konsentrasi 0,3 M dengan volume sebesar 5 mL.

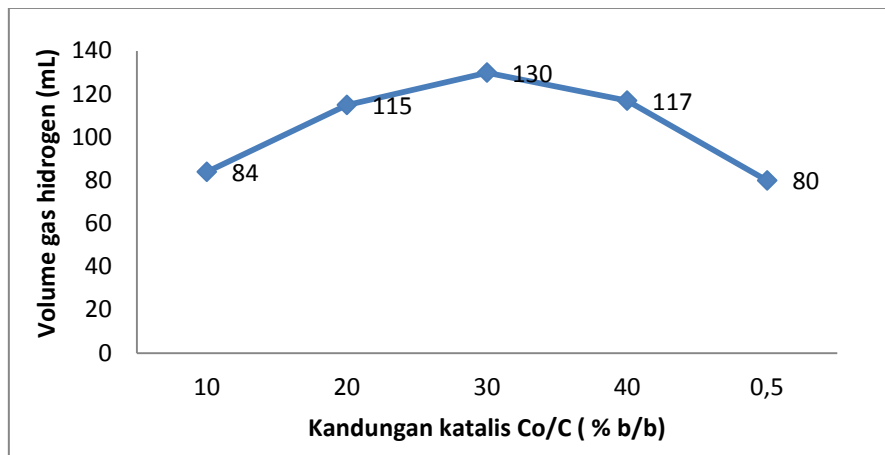
Berdasarkan gambar 12, konsentrasi NaOH yang dapat menghambat produksi gas hidrogen adalah larutan NaOH dengan konsentrasi 0,3 M. Untuk selanjutnya, NaOH dengan konsentrasi 0,3 M digunakan untuk penentuan kandungan katalis yang diperlukan untuk melepaskan gas hidrogen.

### 5.2.2 Pengaruh Kandungan katalis Co/C terhadap Produksi Gas Hidrogen

Katalis Co/C diperlukan untuk melepaskan gas hidrogen dari NaBH<sub>4</sub>. Data pengaruh kandungan katalis terhadap produksi gas hidrogen disajikan dalam tabel 5 dan gambar 13.

Tabel 5. Pengukuran gas H<sub>2</sub> dengan variasi berat katalis Co/C selama 30 menit

No.	Variasi berat katalis (g)	Volume gas H <sub>2</sub> (mL)
1.	0,1	84
2.	0,2	115
3.	0,3	130
4.	0,4	117
5.	0,5	80



Gambar 13. Pengaruh kandungan katalis Co/C terhadap produksi gas hidrogen

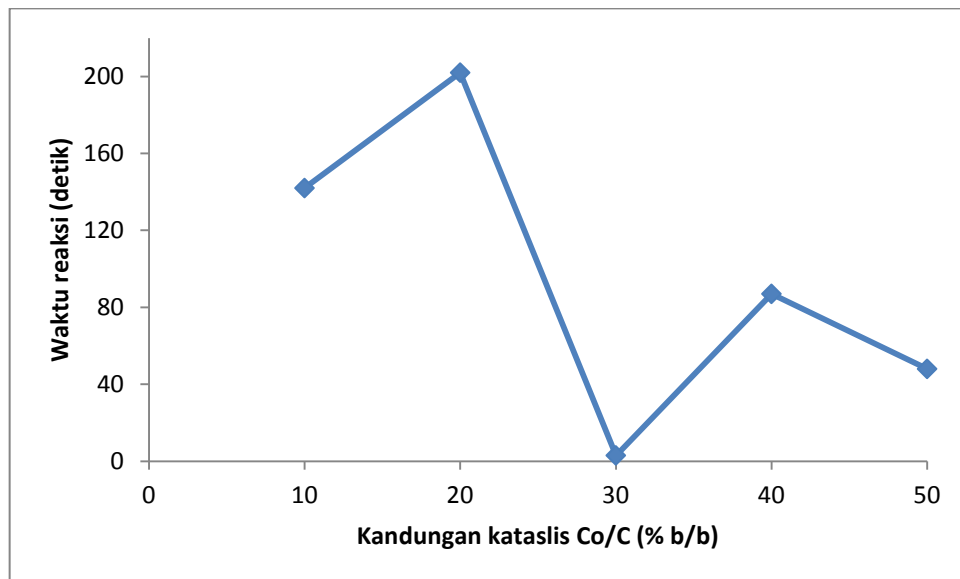
Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa katalis yang menghasilkan H<sub>2</sub> paling banyak adalah katalis dengan kandungan 0,3 gram Co dalam C (30 % b/b), kemudian terjadi penurunan volume gas hidrogen mulai pada katalis dengan kandungan 40% b/b. Hal ini dapat disebabkan telah optimumnya luas permukaan aktif katalis. Dengan demikian, katalis dengan kandungan Co 30 % b/b merupakan katalis yang optimum untuk menghasilkan H<sub>2</sub>.

Untuk melihat pengaruh waktu reaksi, dilakukan analisis produksi gas hidrogen pada konsentrasi NaOH optimum dengan kandungan katalis bervariasi. Data hasil penelitian disajikan dalam tabel 6 dan gambar 14.

Tabel 6. Hasil Produksi Hidrogen Menggunakan Variasi Katalis dan Konsentrasi NaOH Optimum

No	Kandungan katalis (% b/b)	Volume Gas Hidrogen (mL)	Konsentrasi NaOH (M)	Waktu
1.	10	65	0,3	02.22.08
2.	20	13	0,3	03.22.07

3.	30	18	0,3	00.03.38
4.	40	16	0,3	01.27.21
5.	50	20	0,3	00.48.27



Gambar 14. Pengaruh Kandungan katalis terhadap waktu reaksi

Data di atas diperoleh berdasarkan hasil produksi hidrogen menggunakan variasi berat kandungan Co pada katalis yang diperlakukan pada konsentrasi NaOH optimum yaitu 0,3 M. Data tersebut menunjukkan bahwa variasi katalis yang optimum dalam menghasilkan gas hidrogen tercepat adalah katalis yang memiliki kandungan Co sebesar 30 % (b/b) dalam waktu 3,38 detik.

## BAB 6

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, maka kesimpulan sementara dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Katalis Co/C dengan kandungan Co sebesar 30% merupakan katalis dengan kandungan terbanyak
2. Melalui analisis XRD, Katalis Co terdeteksi  $2\theta \sim 44,7^\circ$  dan  $46,16^\circ$  serta  $52,7^\circ$  dan karbon aktif (C) terdeteksi pada  $2\theta \sim 26^\circ$ . Selain pada kandungan 50%, intensitas Co paling tinggi terlihat pada kandungan Co 30% b/b.
3. Melalui analisis CV, katalis dengan kandungan Co mulai 20% b/b mempunyai aktifitas katalitik yang cukup tinggi.
4. Kandungan NaOH optimum untuk menghambat hidrolisis spontan adalah 0,3 M
5. Kandungan katalis optimum untuk memproduksi gas hidrogen adalah katalis dengan kandungan 30% b/b.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z-B Wang, P-J Zuo, Y-Y Chu, Y-Y Shao, G-P Yin (2009) Durability studies on performance degradation of Pt/C catalysts of proton exchange membrane fuel cell, *International Journal of Hydrogen Energy* 34: 4387-4394.
- [2] WRW Daud, AB Mohamad, AAH Kadhum, R Chebbi, SE Iyuke (2004 ) Performance optimisation of PEM fuel cell during MEA fabrication, *Energy Conversion and Management* 45: 3239–3249.
- [3] EYK Andr´e D. Taylor, Virgil P. Humes, Jeremy Kizuka, Levi T. Thompson ( 2007 ) Inkjet printing of carbon supported platinum 3-D catalyst layers for use in fuel cells, *Journal of Power Sources* 171: 101–106.
- [4] M Chisaka, H Daiguji (2006) Effect of glycerol on micro/nano structures of catalyst layers in polymer electrolyte membrane fuel cells, *Electrochimica Acta* 51: 4828-4833.
- [5] JH Nam, K-J Lee, G-S Hwang, C-J Kim, M Kaviany (2009) Microporous layer for water morphology control in PEMFC, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52: 2779-2791.
- [6] L Cindrella, AM Kannan, JF Lin, et al. (2009) Gas diffusion layer for proton exchange membrane fuel cells--A review, *Journal of Power Sources* 194: 146-160.
- [7] F Barbir (2005) Elsevier,
- [8] E Acha, J Requies, MB Güemez, VL Barrio, JF Cambra, PL Arias (2014) Process integration for hydrogen production, purification and storage using iron oxides, *International Journal of Hydrogen Energy* 39: 5257-5266.
- [9] C-C Cormos (2011) Hydrogen production from fossil fuels with carbon capture and storage based on chemical looping systems, *International Journal of Hydrogen Energy* 36: 5960-5971.
- [10] Q Li, H Kim (2012) Hydrogen production from NaBH<sub>4</sub> hydrolysis via Co-ZIF-9 catalyst, *Fuel Processing Technology* 100: 43-48.
- [11] L Yi, L Liu, X Liu, et al. (2012) Carbon-supported Pt–Co nanoparticles as anode catalyst for direct borohydride-hydrogen peroxide fuel cell: Electrocatalysis and fuel cell performance, *International Journal of Hydrogen Energy* 37: 12650-12658.



**LAMPIRAN**  
**FOTO-FOTO KEGIATAN**



Katalis 10% Co



Katalis 20% Co



Katalis 30% Co



Katalis 40% Co



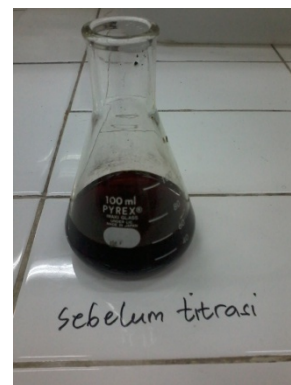
Katalis 50% Co



Stirer selama 2 menit



Proses penyaringan filtrat



Filtrat sebelum dititrasi



Filtrat setelah titrasi



Keseluruhan filtrat setelah titrasi



Reagen untuk penentuan metilen Biru





Peralatan untuk mengukur volume gas hidrogen yang dihasilkan

# LUARAN

## Konferensi Internasional ICICS 2015



Himpunan  
Kimia  
Indonesia

Member of



Indonesian  
**ISMS**  
Science and Math  
Societies

**The 4th International Conference of the Indonesian Chemical Society**  
29-30 September 2015 - Medan, Indonesia

---

[HOME](#) [ABOUT](#) [USER HOME](#) [SEARCH](#) [CURRENT CONFERENCES](#) [ARCHIVE](#) [ANNOUNCEMENTS](#) [OPEN CONFERENCE SYSTEMS](#)

HKI

---

[Home](#) > [User](#) > [Author](#) > [Submissions](#) > #549 > **Summary**

---

## #549 Summary

---

**SUMMARY** [REVIEW](#)

### Submission

Authors	Dedi Rohendi
Title	Prestasi Elektroda pada Membrane Electrode Assembly (MEA) Yang Dibuat dengan Metode Semburan pada Kandungan Katalis dan Kondisi Operasi Bervariasi
Original file	None
Supp. files	None

[ADD A SUPPLEMENTARY FILE](#)

[Conference Help](#)

**USER**  
You are logged in as...  
**dedi\_r**

- [My Profile](#)
- [Log Out](#)

**AUTHOR**  
Submissions

- [Active \(1\)](#)
- [Archive \(0\)](#)
- [New Submission](#)

**NOTIFICATIONS**

# PRESTASI ELEKTRODA PADA MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) YANG DIBUAT DENGAN METODE SEMBURAN PADA KANDUNGAN KATALIS DAN KONDISI OPERASI BERVARIASI<sup>1</sup>

**D. Rohendi<sup>1</sup>, M. Said<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang-Prabumulih Km 32 Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan

## *Abstrak*

Prestasi elektroda pada MEA yang dibuat dengan metode semburan pada kandungan katalis dan kondisi operasi bervariasi telah dilakukan. Prestasi MEA yang dipasang pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) meningkat dengan makin meningkatnya kandungan katalis dan mencapai prestasi maksimal pada kandungan katalis 0,5 mg.cm<sup>-2</sup> yang ditandai dengan kerapatan arus dan tingkat pertukaran kerapatan arus tertinggi serta tingkat polarisasi terendah. Sementara itu, prestasi MEA makin meningkat dengan meningkatnya suhu hingga suhu 70°C dan tekanan balik mampu menurunkan tingkat polarisasi dibandingkan kondisi tanpa tekanan balik. Prestasi MEA meningkat 24.98 % dengan penggunaan tekanan balik 10 psi dibandingkan tanpa tekanan balik pada beda potensial 0,6 V.

Kata Kunci: MEA, kerapatan arus, tekanan balik, PEMFC.

## *Abstract*

### **THE PERFORMANCE OF ELECTRODE IN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) MADE WITH THE SPRAYING METHOD ON THE VARIOUS OF THE CATALYST CONTENT AND VARIING OPERATING CONDITIONS**

**D. Rohendi<sup>1</sup>, M. Said<sup>1</sup>**

The performance of electrode in Membrane Electrode Assembly (MEA) made with the spraying method on the various of the catalyst content and varying operating conditions have been carried out. The performance of MEA mounted on Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) increased with the increasing of content of the catalyst and achieve maximum performance on the content of the catalyst of 0.5 mg.cm<sup>-2</sup> are marked with the highest of the current density and the exchange rate of current density and lowest levels of polarization. Meanwhile, the performance of MEA increased with increasing temperature up to 70° C and the back pressure is able to reduce the level of polarization compared to condition without back pressure. The performance of MEA increased 24.98% with the use of 10 psi back pressure compared with no back pressure on the 0.6 V.

Key words: MEA, current density, back pressure, PEMFC.

## **I. PENDAHULUAN**

Fuel cell (sel bahan bakar) merupakan peralatan elektrokimia yang dapat mengubah energi bebas yang tersedia dalam bahan bakar (energi kimia) langsung menjadi kerja yang bermanfaat dalam bentuk energi listrik [1, 2]. Fuel cell dengan keunggulan pada tingkat konversi yang tinggi, tingkat

---

<sup>1</sup> Disampaikan pada kegiatan ICICS 2015 tanggal 29-30 September 2015 di Hotel Tiara Medan

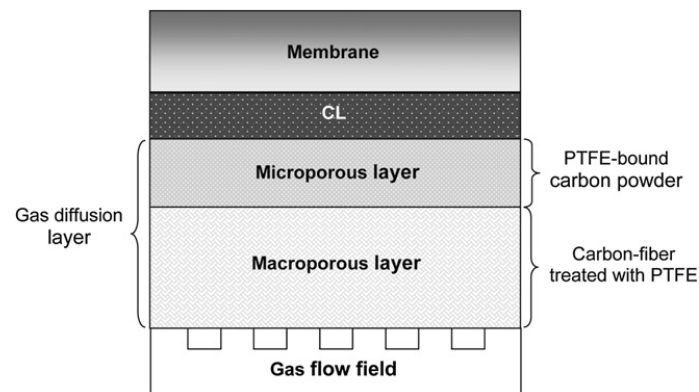
polusi yang rendah, modular dan beragam sumber bahan bakarnya diharapkan dapat menggantikan sumber energi konvensional yang ada [3, 4].

Salah satu jenis fuel cell dengan keunggulan suhu operasi yang relatif rendah, tingkat konversi tinggi dan aplikasi yang beragam (keperluan energi mudah alih, kendaraan bermotor dan sumber energi untuk perumahan) adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) [1, 5].

Komponen terpenting dalam PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang merupakan pusat reaksi elektrokimia pengubahan gas hidrogen (bahan bakar) dan oksigen (oksidan) menjadi energi listrik dan air sebagai buangan. MEA merupakan gabungan antara katoda dan anoda yang mengapit membran elektrolit pada kedua sisi [6]. Karena mempunyai fungsi sangat penting, maka MEA harus mendapat perhatian khusus dalam hal upaya pencapaian kerapatan arus (*current density*) yang tinggi dan daya tahannya. Hal yang perlu dikaji untuk menghasilkan MEA dengan kinerja tinggi adalah kandungan dan jenis katalis dalam elektroda serta metode pembuatannya.

Penelitian fuel cell khususnya PEMFC berkembang secara simultan pada berbagai segi, baik dari sisi eksplorasi dan optimasi kerja komponen, variasi kondisi operasi maupun dari sisi aplikasi. Perangkat PEMFC terdiri atas stek PEMFC yang mengandung MEA, *Bipolar Plate*, sistem saluran gas dan saluran listrik. Sementara itu, MEA terdiri atas dua buah elektroda yang mengapit membran elektrolit penghantar ion.

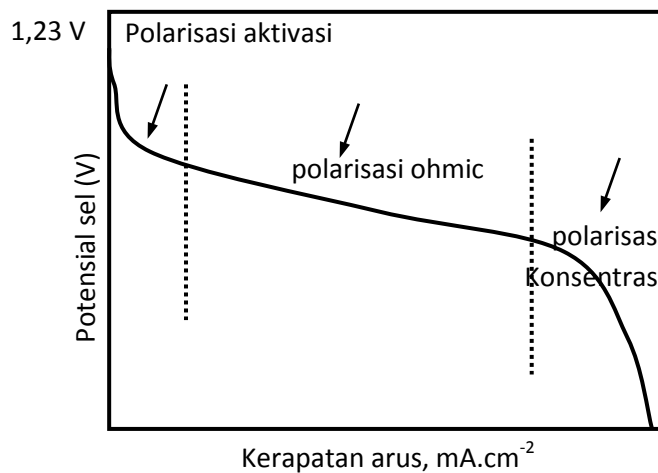
Elektroda secara umum tersusun atas tiga lapisan, yaitu lapisan penyokong (*backing layer / BL*), lapisan penyebaran gas (*gas diffusion layer / GDL*) dan lapisan katalis (*catalyst layer / CL*) [7]. Beberapa peneliti menganggap elektroda hanya terdiri atas GDL dengan CL saja, dengan catatan GDL terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan makro pori yang merupakan lapisan penyokong dan dibuat dari kertas karbon atau kain karbon dan lapisan mikro pori (*mikroporous layer/MPL*) yang dibuat dari serbuk karbon dan zat hidrofobik/hidrofilik. Struktur elektroda menurut Park [8, 9] disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur dari elektroda PEMFC

Para peneliti telah melakukan penyelidikan mengenai kaedah pembuatan MPL dan CL. Akan tetapi hasil penyelidikan sangat bergantung kepada keadaan dan jenis bahan yang digunakan. Walau bagaimanapun, hasil penyelidikan sebelumnya dapat menjadi bahan rujukan sepanjang bahan dan keadaan yang digunakan bersesuaian. Salah satu kaedah pembuatan MPL dan CL yang mudah dan cukup berkesan adalah kaedah semburan seperti mana yang digunakan dalam kajian ini. Pembuatan CL dengan kaedah semburan dilakukan dengan dua kaedah, iaitu kaedah semburan satu lapisan katalis dan tiga lapisan katalis. Maksud dari penggunaan kaedah pembuatan yang berbeda ialah untuk mencari kaedah yang menghasilkan prestasi yang lebih baik.

Diantara faktor penentu prestasi dari sebuah MEA ialah tingkat polarisasi (kehilangan kerapatan arus) yang terbagi menjadi tiga bagian, yaitu polarisasi aktivasi, polarisasi ohm dan polarisasi konsentrasi seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2. Pengembangan fuel sel diarahkan untuk meminimumkan polarisasi sehingga potensial sel mendekati OCV (open circuit voltage) pada berbagai keadaan.



Gambar 2. Polarisasi fuel cell

Polarisasi (khususnya polarisasi aktivasi) akan makin kecil apabila pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) atau nilai  $b \cdot \log i_0$  makin tinggi, merujuk pada persamaan 1.

$$\eta_{act} = b \cdot \log (i/i_0) = b \cdot \log i - b \cdot \log i_0 \quad (1)$$

## II. METODOLOGI

Untuk mempersiapkan MEA, kertas karbon P75T CPS (Ballard, USA) digunakan sebagai backing layer (makro pori) GDL dan dikombinasikan dengan karbon hitam Vulcan-XC72 (Cabot, USA), suspensi politetrafluoroetilen (PTFE) (60% berat, DuPont, USA), larutan Nafion (5% berat, DuPont, USA), Pt/C (20% berat, PMC, USA), isopropil alkohol (IPA) (Sigma-Aldrich, USA) dan amonium bikarbonat (Sigma-Aldrich, USA). Prosedur untuk fabrikasi MEA dibuat berdasarkan metode yang telah dilakukan sebelumnya [10], dengan kandungan platinum total  $0,5 \text{ mg.cm}^{-2}$  di anoda dan  $0,7 \text{ mg.cm}^{-2}$  di katoda, menggunakan membran Nafion NR 212 (DuPont, USA) sebagai membran elektrolit.

Uji kinerja PEMFC sel tunggal dilakukan pada peralatan *fuel cell station* dari GasHubb (Singapura) pada kandungan katalis Pt/C bervariasi ( $0,1$ ;  $0,3$ ;  $0,5$ ;  $0,7$  dan  $0,9 \text{ mg.cm}^{-2}$ ) serta kondisi operasi pada suhu ambien,  $50^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  dan  $80^\circ\text{C}$  dan pada kondisi dengan tekanan balik sampai 10 psi dan tanpa tekanan balik.

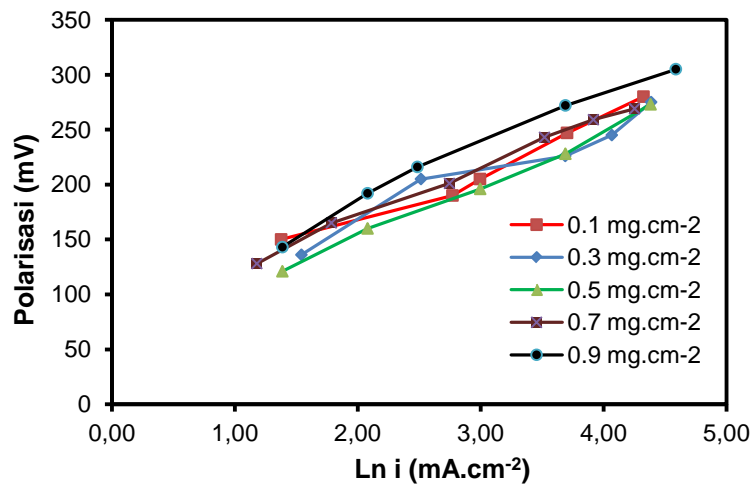
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Prestasi MEA pada berbagai kandungan katalis

Sesuai fungsinya, katalis dapat menurunkan energi pengaktifan dari suatu reaksi sehingga reaksi berlangsung lebih mudah. Di dalam PEMFC, katalis platina bertindak dalam proses reaksi elektrokimia pengubahan hidrogen dan oksigen menghasilkan air dan arus listrik melalui situs aktif katalis. Secara umum, peningkatan kandungan platina akan meningkatkan prestasi MEA yang disebabkan oleh peningkatan dalam jumlah situs aktif. Akan tetapi, peningkatan prestasi bergantung kepada efektivitas distribusi dan ukuran partikel katalis. Ada batas kandungan katalis optimum dimana peningkatan kandungan katalis sudah tidak dapat lagi meningkatkan prestasi katalisis yang disebabkan oleh berkumpulnya partikel katalis pada satu situs aktif [11].

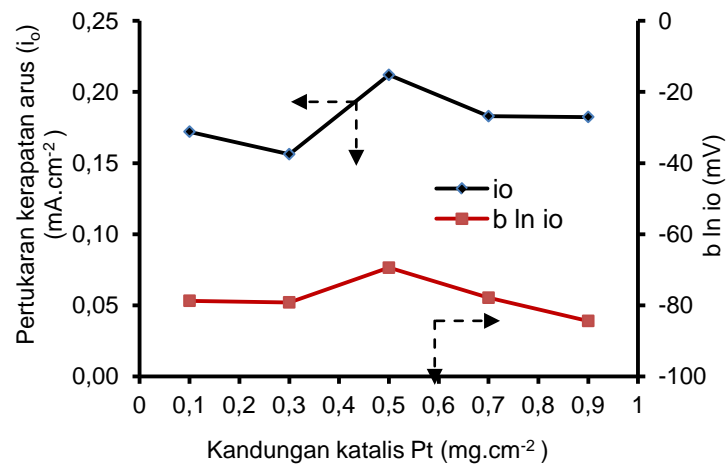
Berdasarkan tingkat polarisasi, MEA dengan kandungan katalis Pt  $0,5 \text{ mg.cm}^{-2}$  adalah MEA yang paling dapat mempertahankan prestasi pada kawasan polarisasi ohm dan MEA dengan kandungan katalis  $0,9 \text{ mg.cm}^{-2}$  termasuk yang paling rendah prestasinya pada kawasan ini. Sementara itu, prestasi MEA secara umum menurun drastis pada kawasan polarisasi aktivasi. Untuk mengetahui

prestasi dari setiap MEA pada kawasan polarisasi aktivasi, gambar 3 menunjukkan hubungan antara polarisasi yang terjadi terhadap kerapatan arus dan gambar 4 menunjukkan tingkat pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) dan nilai dari  $b \ln i_0$  dari setiap MEA.



Gambar 3. Tingkat polarisasi pada berbagai kerapatan arus dari MEA dengan kandungan katalis Pt yang bervariasi.

Secara umum, MEA dengan kandungan katalis Pt  $0.5 \text{ mg.cm}^{-2}$  memiliki tingkat polarisasi lebih rendah berbanding dengan kandungan katalis yang lain pada setiap nilai kerapatan arus, sementara kandungan katalis  $0.9 \text{ mg.cm}^{-2}$  memiliki tingkat polarisasi paling tinggi (gambar 3). Tingkat polarisasi aktivasi yang semakin tinggi menunjukkan terjadi penurunan potensial sel yang mengakibatkan prestasi MEA mengalami penurunan.



Gambar 4. Tingkat pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) dan nilai  $b \ln i_0$  dari MEA pada berbagai kandungan katalis.

Merujuk pada gambar 4, MEA dengan kandungan katalis  $0.5 \text{ mg.cm}^{-2}$  memiliki nilai pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) dan nilai  $b \ln i_0$  paling tinggi berbanding MEA lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa MEA dengan kandungan katalis  $0.5 \text{ mg.cm}^{-2}$  merupakan MEA dengan prestasi tertinggi pada kawasan polarisasi aktivasi. MEA yang mempunyai prestasi tinggi disyaratkan mempunyai polarisasi yang rendah ( $\Delta E$  kecil), dan agar polarisasi menjadi rendah, maka dikehendaki konstanta tafel nya kecil dan harga  $i_0$  yang besar. Nilai  $i_0$  yang tinggi menggambarkan kinetika reaksi katalisis berjalan dengan baik. Pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) merupakan sifat dasar elektroda yang menunjukkan kekuatan pengoksidasian dan pereduksian pada keadaan keseimbangan yang dinyatakan dengan arus. Nilai  $i_0$  dari MEA banyak didukung oleh reaksi oksidasi hidrogen (*hydrogen oxidation*



reaction, HOR) dengan nilai dalam rentang  $\sim 10^{-3} - 10^{-4} \text{ A.cm}^{-2}$ , sementara reaksi reduksi oksigen (*Oxygen reduction reaction*, ORR) lebih kecil ( $\sim 10^{-8} - 10^{-9} \text{ A.cm}^{-2}$ ) berbanding HOR. Hal inilah yang menyebabkan kinetika reaksi reduksi oksigen di katoda lebih lambat berbanding dengan oksidasi hidrogen di anoda. Secara keseluruhannya, kinetika reaksi elektrokimia dalam PEMFC didominasi oleh rendahnya kinetika reaksi di katoda [12].

### 3.2. Prestasi MEA pada berbagai kondisi operasi

Kemampuan untuk meningkatkan prestasi MEA dengan mengatur keadaan operasi telah banyak dilakukan. Santarelli (2007) telah mencoba untuk meningkatkan prestasi PEMFC melalui pengaturan suhu sel dan tekanan balik. Pengoptimalan keadaan operasi lebih mudah karena perubahan dapat dibuat ketika fuel cell sedang dijalankan. Akan tetapi, mendapatkan nilai yang konsisten untuk beberapa parameter kinetika termasuk sukar [13].

Pada kajian ini, prestasi MEA dengan tekanan balik meningkat 25 % berbanding tanpa tekanan balik pada 0.6 V (gambar 5). Prestasi makin meningkat dengan menaikkan suhu sehingga 50°C dengan peningkatan 136 % berbanding tanpa tekanan balik pada tegangan yang sama. Semakin tinggi suhu, maka ketahanan MEA pada kawasan polarisasi ohm makin bertambah. Pengaruh dari suhu dan kerapatan arus terhadap rintangan total proton dan elektron pada kawasan polarisasi ohm dinyatakan melalui persamaan 2 [14]:

$$R_{\text{total}} = 0.01605 - 3.5 \times 10^{-5} T + 8.0 \times 10^{-5} I \quad (2)$$

dengan T ialah suhu (K) dan I kerapatan arus ( $\text{mA.cm}^{-2}$ ).

Berdasarkan persamaan (2), rintangan total akan semakin menurun jika suhu dinaikkan. Rintangan total ialah penjumlahan dari rintangan plat, elektroda dan rintangan membran. Berdasarkan persamaan di atas, peningkatan suhu hingga 50°C akan menurunkan rintangan total sebanyak 0.011305 satuan. Dengan demikian, pengaruh suhu sangat penting dalam meningkatkan prestasi MEA. Sebaliknya, semakin tinggi kerapatan arus, rintangan total makin meningkat yang menyebabkan polarisasi ohm makin besar. Hal ini menyebabkan potensial sel secara keseluruhan menurun dengan meningkatnya kerapatan arus. Penurunan potensial sel akibat meningkatnya polarisasi ohm dinyatakan dengan jelas melalui persamaan 3.

$$V_{\text{sel}} = \Delta E - (\eta_{\text{act, k}} + \eta_{\text{conc, k}}) - (\eta_{\text{act, a}} + \eta_{\text{conc, a}}) - iR \quad (3)$$

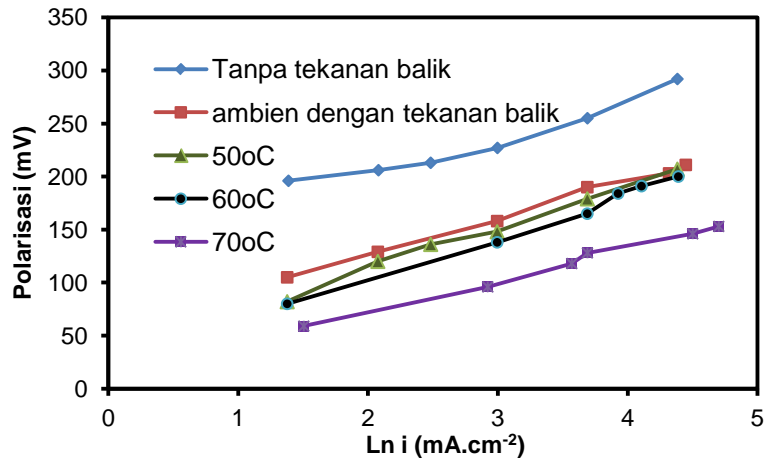
Pengaruh suhu terhadap faktor termodinamika dan kinetika reaksi dapat diterangkan melalui parameter-parameter reaksi yang terlibat di dalam penghasilan energi, yaitu pertukaran kerapatan arus ( $i_o$ ), potensial keseimbangan ( $E_{\text{rev}}$ ) dan kemiringan Tafel (b). Pertukaran kerapatan arus ( $i_o$ ) makin meningkat apabila suhu semakin tinggi, sesuai dengan hubungan yang terdapat pada persamaan 4 [15]:

$$i_o = \frac{RT}{nFR_{\text{ct}}} \quad (4)$$

di mana:

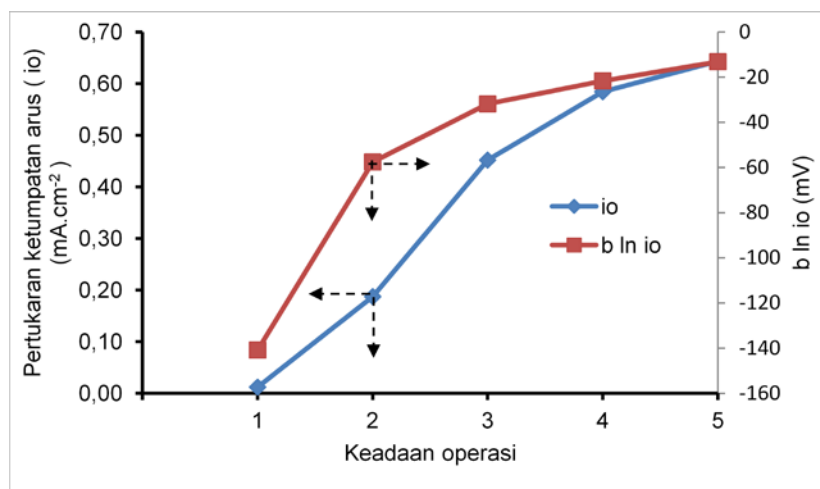
- $i_o$  = pertukaran kerapatan arus ( $\text{mA.cm}^{-2}$ )
- R = konstanta gas universal ( $8.314 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
- T = suhu (K)
- n = jumlah mol elektron dalam reaksi
- F = konstanta Faraday ( $96,485 \text{ C.mol}^{-1}$ )
- $R_{\text{ct}}$  = rintangan pemindahan muatan (ohm)

Pengaruh suhu dan tekanan balik terhadap tingkat polarisasi dan nilai dari pertukaran kerapatan arus ( $i_o$ ) ditunjukkan dalam gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Tingkat polarisasi pada berbagai kerapatan arus dari MEA dengan kandungan katalis yang bervariasi.

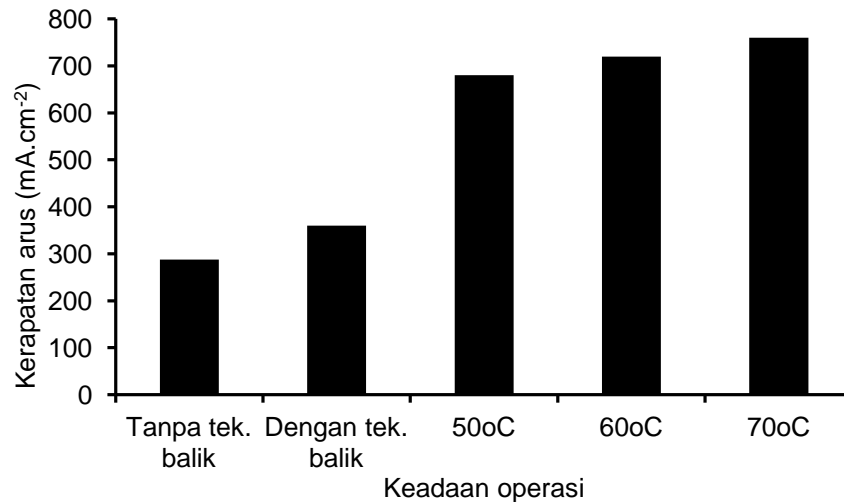
Merujuk hasil pada gambar 5, Tekanan balik berperan cukup signifikan untuk menurunkan tingkat polarisasi aktivasi dari MEA. Tekanan balik pada dasarnya membantu pembauran dan permeabilitas gas untuk memasuki kawasan CL dengan efisien. Tekanan balik akan mendorong gas untuk melakukan reaksi pada kawasan CL bahkan yang terdekat kepada membran. Akan tetapi, penggunaan tekanan balik tidak boleh terlampaui besar, karena dapat menimbulkan terjadinya lintas silang (*cross over*) gas. Sementara itu, pengaruh suhu semakin menurunkan tingkat polarisasi aktivasi yang diakibatkan oleh peningkatan kinetika gas dan reaksi katalisis. Hal ini nampak dari penurunan tingkat polarisasi MEA pada berbagai kerapatan arus (gambar 6).



Gambar 6. Tingkat pertukaran kerapatan arus ( $i_0$ ) dan nilai  $b \ln i_0$  dari MEA pada berbagai keadaan operasi; (1) tanpa tekanan balik, (2) suhu ambien dengan tekanan balik, (3) 50°C, (4) 60°C, (5) 70°C.

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu, nilai  $i_0$  dari MEA makin meningkat yang menunjukkan meningkatnya pengaktifan katalis dan reaksi elektrokimia pada CL. Demikian pula halnya dengan nilai  $b \ln i_0$ . Prestasi MEA meningkat secara signifikan apabila suhu fuel cell dinaikkan dari keadaan ambien ke suhu 50°C (dengan peningkatan kerapatan daya purata 25.5%) dan terus meningkat dengan meningkatnya suhu, walaupun kenaikan selanjutnya tidak cukup signifikan pengaruhnya pada kerapatan daya (Peningkatan kerapatan daya purata dari 50°C - 60°C hanya sekitar 1% dan dari 60 - 70°C ialah 0.3%) (gambar 7). Diantara faktor yang menyebabkan penurunan kenaikan kerapatan daya seiring makin meningkatnya suhu adalah karena untuk reaksi dengan perubahan entropi negatif, peningkatan suhu akan mengurangi kespontanan reaksi

berdasarkan persamaan energi bebas Gibbs. Berdasarkan 7 juga dapat dilihat bahwa prestasi MEA meningkat 24.98 % pada 0.6 V dengan penggunaan tekanan balik 10 psi.



Gambar 7. Kerapatan arus pada berbagai keadaan operasi dari MEA dengan kandungan platina 0.7 mg.cm<sup>-2</sup> pada 0.6 V.

Hal lain yang perlu diperhatikan ketika menjalankan fuel cell pada suhu yang bervariasi ialah suhu sel dan suhu input dari anoda dan katoda mesti seimbang [16]. Sebab, jika suhu input lebih rendah daripada suhu sel, pengeringan akan terjadi di dalam sel, dan jika suhu input lebih tinggi daripada suhu sel, akan berlaku kondisi banjir. Kedua-dua keadaan akan menurunkan prestasi dari PEMFC.

#### IV. KESIMPULAN

Prestasi MEA meningkat dengan meningkatnya kandungan katalis hingga situs aktif katalis optimum dicapai yaitu pada kandungan katalis 0.5 mg.cm<sup>-2</sup> untuk anoda dan 0.7 mg.cm<sup>-2</sup> untuk katoda. Selain itu, prestasi MEA makin meningkat dengan meningkatnya suhu yang diakibatkan peningkatan dalam energi kinetik reaksi dan dengan demikian meningkatkan prestasi MEA sehingga suhu optimum dipenuhi. Sementara itu, tekanan balik 10 psi mampu meningkatkan prestasi MEA sebesar 24.98 % pada 0.6 V berbanding tanpa tekanan balik. Tekanan balik dapat meningkatkan kuantitas hidrogen dan oksigen untuk bereaksi pada lapisan katalis.

#### PUSTAKA

1. Wang, Z.-B., et al., *Durability studies on performance degradation of Pt/C catalysts of proton exchange membrane fuel cell*. International Journal of Hydrogen Energy, 2009. **34**(10): p. 4387-4394.
2. Wang, Y., et al., *A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research*. Applied Energy, 2011. **88**(4): p. 981-1007.
3. André D. Taylor, E.Y.K., Virgil P. Humes, Jeremy Kizuka, Levi T. Thompson, *Inkjet printing of carbon supported platinum 3-D catalyst layers for use in fuel cells*. Journal of Power Sources 2007 **171**: p. 101–106.
4. Daud, W.R.W., et al., *Performance optimisation of PEM fuel cell during MEA fabrication*. Energy Conversion and Management, 2004 **45**: p. 3239–3249.
5. Su, H.-N., et al., *High performance membrane electrode assembly with ultra-low platinum loading prepared by a novel multi catalyst layer technique*. International Journal of Hydrogen Energy, 2010. **35**(19): p. 10430-10436.
6. Starz, K.-A., et al., *Ink for producing membrane electrode assemblies for fuel cells*, U.S.P. Application, Editor 2002: US.

7. Iyuke, S.E., et al., *Improved membrane and electrode assemblies for proton exchange membrane fuel cells*. Journal of Power Sources, 2003. **114**(2): p. 195-202.
8. Park, S., J.-W. Lee, and B.N. Popov, *A review of gas diffusion layer in PEM fuel cells: Materials and designs*. International Journal of Hydrogen Energy, 2012. **37**(7): p. 5850-5865.
9. Park, S. and B.N. Popov, *Effect of a GDL based on carbon paper or carbon cloth on PEM fuel cell performance*. Fuel, 2011. **90**(1): p. 436-440.
10. Rohendi, D., et al., *Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions*. International Journal of Hydrogen Energy, 2013. **38**(22): p. 9431-9437.
11. Srinivasarao, M., et al., *Performance analysis of a PEM fuel cell cathode with multiple catalyst layers*. International Journal of Hydrogen Energy, 2010. **35**(12): p. 6356-6365.
12. Zhang, J. and J. Zhang, *Catalyst Layer/MEA Performance Evaluation*, in *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers : Fundamentals and Applications*, J. Zhang, Editor 2008, Springer: London.
13. Song, C., et al., *PEM fuel cell reaction kinetics in the temperature range of 23–120°C*. Electrochimica Acta, 2007. **52**(7): p. 2552-2561.
14. Das, P.K., X. Li, and Z.-S. Liu, *Analytical approach to polymer electrolyte membrane fuel cell performance and optimization*. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2007. **604**: p. 72–90.
15. Xiao-Zi Yuan, C.S., Haijiang Wang, Jiujun Zhang, *Electrochemical Impedance Spectroscopy in PEM Fuel Cells : Fundamentals and Applications*, 2010, Springer: London.
16. Santarelli, M.G. and M.F. Torchio, *Experimental analysis of the effects of the operating variables on the performance of a single PEMFC*. Energy Conversion and Management, 2007. **48**(1): p. 40-51.