

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI  
DARI GRAFIT SERBUK DENGAN PEMBANDING KARBON AKTIF  
SERBUK MENGGUNAKAN METODE HUMMER**

**SKRIPSI**

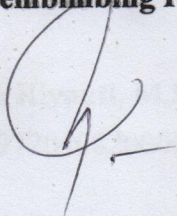
Diajukan Sebagai Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

**SAFRIL SYAHRIAL**  
**08031281419021**

Indralaya, September 2018

**Pembimbing I**



**Dr. Nirwan Syarif M.Si**  
**NIP. 196704191993031001**

**Pembimbing II**



**Dr. Dedi Rohendi M.T**  
**NIP. 197010011999031003**

**Mengetahui,**  
**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**  
**NIP. 197210041997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

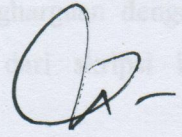

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Preparasi Karbon Oksida Tereduksi dari Kulit Bahan Alam dengan Metode Reduksi Ultrasonik" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 November 2018 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 15 November 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

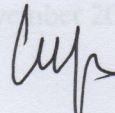
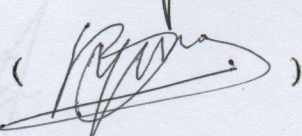
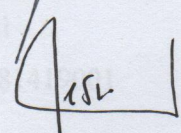
### Pembimbing :

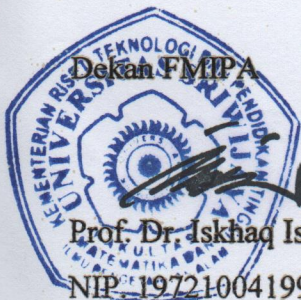
1. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si.**  
NIP. 197010011999031003
2. **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**  
NIP. 196704191993031001

(  )  
(  )

### Penguji :

1. **Prof. Dr. Elfita, M.S.**  
NIP. 197211092000032001
2. **Dr. Bambang Yudono, M.Sc.**  
NIP. 196102071989031004
3. **Dr. Desneli, M.Si.**  
NIP. 196912251997022001

(  )  
(  )  
(  )



**Prof. Dr. Iskhag Iskandar, M.Sc.**  
NIP. 197210041997021001

Mengetahui,



**Ketua Jurusan Kimia**

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

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGEMBANGAN ELEKTRODA KARBON  
BERBASIS TUMBUHAN ECENG GONDOK  
(*EICHORNIA CRASSIPE/MART*) DAN APLIKASINYA  
PADA BATERAI LITHIUM-ION**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Ilmu Kimia pada Fakultas MIPA

Oleh:

**RIYANTI KUSUMA DEWI**

**08121003007**

Indralaya 2 Agustus 2019

**Pembimbing I**



**Dr. Nirwan Syarif, M.Si**  
**NIP.197010011999031003**

**Pembimbing II**



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

**Mengetahui**

**Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**  
**NIP. 197210041997021001**

HALAMAN PENGESAHAN

AKTIVASI SPENT BLEACHING EARTH PENGOLAHAN MINYAK  
KELAPA DENGAN PIROLISIS YANG DIBANTU MENGGUNAKAN  
GELOMBANG MIKRO

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Ilmu Kimia pada Fakultas MIPA

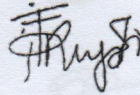
Oleh:

NOVANDA VANDINI

08031181320001

Indralaya, April 2019

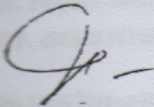
Pembimbing II



Fahma Riyanti, M.Si

NIP. 197204082000032001

Pembimbing I

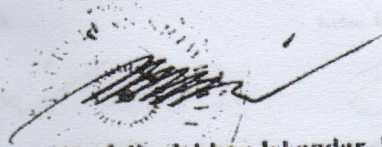


Dr. Nirwan Syarif, M.Si

NIP. 197010011999031003

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Dr. Iskhauq Iskandar, M.Sc  
NIP. 197210041997021001

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI JENIS ASAM, KONSENTRASI ASAM, DAN  
VOLTASE TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK DAN ENERGI  
CELAH PITA PADA KARBON BINCHOTAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

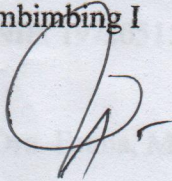
**Oleh**

**CLAUDIA KARTIKA SARI DEWI**

**08031181419005**

**Inderalaya, September 2018**

**Pembimbing I**



**Dr. Nirwan Syarif, M.Si.**

**NIP. 197010011999031003**

**Pembimbing II**

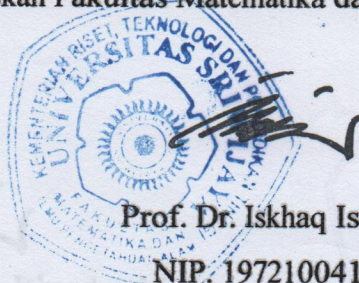


**Dr. Dedi Rohendi, M.T.**

**NIP. 196704191993031001**

**Mengetahui**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M. Sc**

**NIP. 197210041997021001**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI GRAFENA DARI KARBON NANO  
DENGAN OKSIDATOR ASAM NITRAT DAN REDUKSI ULTRASONIK**

**SKRIPSI**

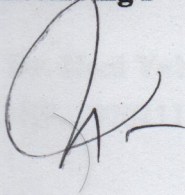
**Diajukan Sebagai Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

**Oleh :**

**BELLA APRIYANI  
08031281419067**

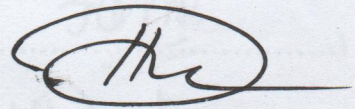
**Indralaya, September 2018**

**Pembimbing I**



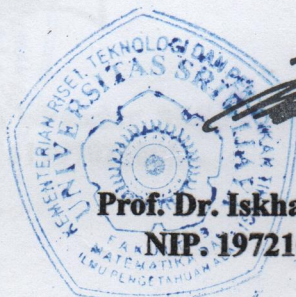
**Dr. Nirwan Syarif M.Si  
NIP. 196704191993031001**

**Pembimbing II**



**Dr. Dedi Rohendi M.T  
NIP. 197010011999031003**

**Mengetahui,  
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc  
NIP. 197210041997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

# KARAKTERISASI ELEKTRODA Pt-Co/C YANG DIBUAT DENGAN METODE SEMBURAN DAN UJI KINERJANYA MENGUNAKAN RAKITAN ELEKTRODA MEMBRAN (MEA) PADA DMFC

## SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh

**YUNI MARCELINA**  
08031381419040

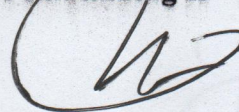
**Pembimbing I**



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

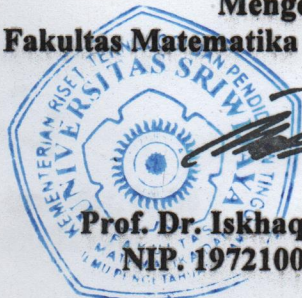
Inderalaya, Sempember 2018

**Pembimbing II**



**Dr. Nirwan Syarif, M.Si**  
NIP. 197010011999031003

**Mengetahui,**  
**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**  
NIP. 197210041997021001

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMBUATAN ELEKTRODA DENGAN KATALIS Pt-Co/C  
MENGUNAKAN METODE CATALYST COATED MEMBRANE (CCM)  
DAN KARAKTERISASI SERTA UJI KINERJA MEMBRANE  
ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) PADA DIRECT METHNOL FUEL CELL  
(DMFC)**

**SKRIPSI**

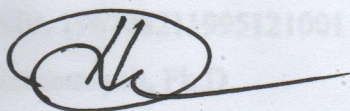
**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

**Oleh**

**MARINI TRI UTAMI  
08031181419002**

**Inderalaya, 26 September 2018**

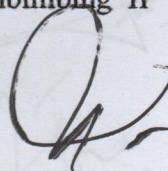
**Pembimbing I**



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

**NIP. 196704191993031001**

**Pembimbing II**

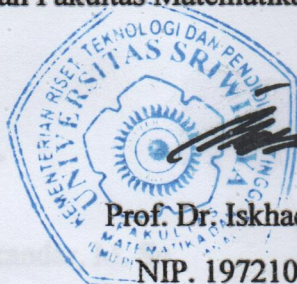


**Dr. Nirwan Syarif, M.Si.**

**NIP. 197010011999031003**

**Mengetahui**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.**

**NIP. 197210041997021001**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRODUKSI HIDROGEN DARI ELEKTROLISIS LIMBAH CAIR AMMONIA  
DI PT. PUPUK SRIWIJAYA**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

**Oleh :**

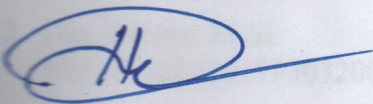
**MEILIZA YULIANINGSIH**

**08031381419030**

**Indralaya, September 2018**

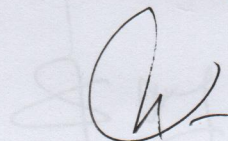
**Pembimbing II**

**Pembimbing I**



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

**NIP.196704191993031001**



**Dr. Nirwan Syarif, M.Si**

**NIP. 197010011999031003**

**Mengetahui, Indralaya, 21 September 2018**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**

**NIP. 197210041997021001**

**KARAKTERISASI *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)  
DENGAN KATALIS Pt-Ru/C MENGGUNAKAN METODE *CATALYST-  
COATED MEMBRANE* (CCM) DAN UJI KINERJA PADA *DIRECT  
METHANOL FUEL CELL* (DMFC)**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



**Oleh :**

**RETNO WULANDARI**

**08031281419068**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

### **KARAKTERISASI *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Ru/C MENGGUNAKAN METODE *CATALYST-COATED MEMBRANE* (CCM) DAN UJI KINERJA PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL* (DMFC)**

### **SKRIPSI**

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh

**RETNO WULANDARI**  
**08031281419068**

Inderalaya, 13 September 2018

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Dr. Nirwan Syarif, M.Si**  
**NIP. 197010011999031003**

**Mengetahui,**  
**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc**  
**NIP. 197210041997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Karakterisasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C Menggunakan Metode *Catalyst-Coated Membrane* (CCM) dan Uji Kinerja pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji dalam Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 13 September 2018 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan yang diberikan.

Indralaya, 13 September 2018

Ketua :

1. Dr. Dedi Rohendi, M.T  
NIP. 196704191993031001



Penguji :

1. Dr. Nirwan Syarif, M.Si  
NIP. 197010011999031003
2. Dr. Ady Mara, M.Si  
NIP. 196404301990031003
3. Dra. Fatma, M.S  
NIP. 196207131991022001
4. Dra. Julinar, M.Si  
NIP. 196507251993032002



Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc  
NIP. 197210041997021001

Ketua Jurusan



Dr. Dedi Rohendi, M.T  
NIP. 196704191993031001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Retno Wulandari  
NIM : 08031281419068  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumberpenulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 13 September 2018

Penulis,



Retno Wulandari

08031281419068

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa : Retno Wulandari

NIM : 08031281419068

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

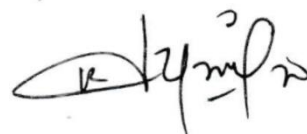
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Karakterisasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Rt-Ru/C Menggunakan Metode *Catalyst-Coated Membrane* (CCM) dan Uji Kinerja pada Stek *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)” . Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Dengan pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya

Indralaya, 13 September 2018

Yang menyatakan,



Retno Wulandari

08031281419068

*“If something is destined for you, never in million years  
will it be for somebody else”*

— Dr. Bilal Philips

*“Fabiayyi ‘aalaa’i Rabbikumaa Tukadzibaan”*

— Q.S Ar-Rahman : 13

**“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan  
malam pun tidak dapat mendahului siang.  
Masing-masing beredar pada garis edarnya.”**

— Q.S Yasin : 40

**Skripsi ini saya persembahkan kepada:**

**Ayah dan Ibunda**

**Adik-adik**

**Sahabat-sahabat**

**Almamater Universitas Sriwijaya**

**Seluruh Peneliti di Bidang Kimia**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas rahmat, hidayah dan memelihara seluruh alam semesta. Serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad s.a.w. Penulis mengucapkan puji syukur karena dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Karakterisasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C Menggunakan Metode *Catalyst-Coated Membrane* (CCM) dan Uji Kinerja pada Stek *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dedi Rohendi, M.T dan Dr. Nirwan Syarif, M.Si yang telah banyak memberikan bimbingan, pengalaman, motivasi, saran dan petunjuk, kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya dan Bapak Prof. Iskhaq Iskandar, M.Sc. selaku Dekan Fakultas MIPA.
2. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya, beserta dosen-dosen dan karyawan.
3. Bapak Dr. Ady Mara, M.Si., Ibu Dra. Fatma, M.S., dan Ibu Dra. Julinar, M.Si. selaku penguji sidang sarjana.
4. Ayah dan Ibu sebagai representasi kasih sayang abadi dan adik kecil, Sisca Anggraini atas kesediaannya menjadi teman berbagi banyak hal.
5. Sandra Viani Aseri yang selalu bersisian selama melewati segala drama selama kuliah. Firda Junaidah, Ade Septi Handayani dan Fitria Sartika yang tak pernah bosan berteman. Tirta Sari Hardiyanti, *partner* Kerja Praktek yang mengimbangi ketengilan selama di Cikampek. Serta Nining Oktafina Sifana dan Afdhal Junaidi yang membuat agenda pertemuan wajib tengah malam setelah sidang kisruh tak berfaedah, selamat menjalani prahara skripsi!
6. Terima kasih kepada tim *Fuel Cell* x Hidrogen (Yuni, Marini, Meiliza, Eka, dan Hengki) dan MICIN (Bella, Clau, Lisa, dan Safril) serta Mbak Reka,

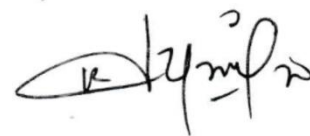


Mbak Fety, Rio, kak Maqom serta Adit dan Reka sebagai orang-orang di balik layar yang tak henti memberi lawakan segar di sela rumitnya tugas akhir.

7. Teman-teman MIKI 2014 (Aan, Ade, Afifah, Annisya, Anisa, Aria, Ariyanti, Ayu, Claudia Nour, Della, Dewi, Dwi, Faisal, Firda, Friska, Galuh, Getari, Helda, Ikhsan, Miyah, Lavini, Leny, Lisana, Lucia, Lulu, Maulidya, Mia, Mikha, Mira, Musda, Muthia, Nafi'ul, Najmatul, Ninu, Nyayu, Putri Agustina, Putri Andani, Ratih, Riska, Riski, Resta, Riza, Robi, Rona, Sari, Rama, Ulfa, Uswa, Winda, Wini, Yunita, dan Yuri) yang sengaja diurut berdasarkan absen agar tidak ada yang tertinggal. Terima kasih atas kesempatan mengenal kalian.
8. *Another people I should thank for*: kakak tingkat (Kak Bayu, Kak Willy, Kak Rizqi, Mbak Oka, dan Mbak Nurita) yang skripsinya dicatut sebagai referensi dan acuan penulisan. Kakak tingkat dan adik tingkat di Kimia. Teman-teman sedari kecil sampai sekarang, di SD-SMA, LEPASS, PASKIBRA, IKAHIMKI, KKN86 (terkhusus Melly dan Muthia), PT Pupuk Kujang, BEMU, *Volunteer Athlete Village Asian Games 2018 cluster* Palembang dan lain-lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
9. Orang-orang yang saya temui di setiap tempat dan menginspirasi secara tidak langsung, terima kasih.
10. Untuk *si Matahari*, yang selalu menjadi notasi untuk setiap lagu dan sajak untuk setiap ungkapan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin

Indralaya, 13 September 2018



Penulis

## SUMMARY

CHARACTERIZATION OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) WITH Pt-Ru/C CATALYST USING CATALYST-COATED MEMBRANE METHOD AND ITS PERFORMANCE TEST IN DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)

Scientific Paper in the form of Skripsi, September 2018

Retno Wulandari, supervised By: Dr. Dedi Rohendi, M.T and Dr. Nirwan Syarif, M.Si

xv + 61 Pages, 9 Tables, 15 Pictures, 7 Attachements.

The research about characterization of Membrane Electrode Assembly (MEA) with Pt-Ru/C catalyst using Catalyst-Coated Membrane (CCM) method and its performance test in Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) has been done. The catalysts were made by using a mixture of platinum and ruthenium (III) nitrosyl nitrate solution that was sprayed upon membranes using CCM method. This mixture forms various composition of Pt-Ru/C catalyst with the percentage of 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% Pt's loading against Ru. The electrodes were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Cyclic Voltammetry (CV) and electrical conductivity. The results of XRD analysis showed carbon was at position  $2\theta = 20-30^\circ$ , peak of platinum was at position  $2\theta = 39,8-40,2^\circ$  and peak of ruthenium at position  $2\theta = 52-55^\circ$ . The test result of catalytic activity with *Electrochemical Surface Area* (ECSA) method showed the highest of catalyst active surface area at Pt-Ru/C electrode with a ratio of Pt:Ru 40% was  $6,572 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{gram}$  and the results of conductivity analysis was 0.0033 S/cm. The performance test in DMFC obtained the highest value of the OCV (open circuit voltage) and the values of the current and voltage when given the resistor varies. The highest value of the OCV with a ratio of Pt:Ru 40% was at 8,36 mV.

Keywords : Direct Methanol Fuel Cell, Catalyst-Coated Membrane, Membrane Electrode Assembly, Platinum, Ruthenium

Citations : 50 (1975-2017).

## RINGKASAN

KARAKTERISASI *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Ru/C MENGGUNAKAN METODE *CATALYST-COATED MEMBRANE* DAN UJI KINERJA PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL* (DMFC)

Karya Tulis Ilmiah dalam Skripsi, September 2018

Retno Wulandari, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Dr. Nirwan Syarif, M.Si

xv + 61 Halaman, 9 Tabel, 15 Gambar, 7 Lampiran.

Penelitian tentang karakterisasi *membrane electrode assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Ru/C menggunakan metode *catalyst-coated membrane* (CCM) dan uji kinerja pada *direct methanol fuel cell* (DMFC) telah dilakukan. Katalis dibuat menggunakan campuran platina dan larutan rutenium (III) nitrosil nitrat yang ke atas MEA menggunakan metode CCM. Campuran ini membentuk komposisi katalis Pt-Ru/C yang bervariasi dengan persentase muatan Pt 0%, 20%, 60%, 80%, 100% terhadap Ru. Elektroda dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), siklik voltametri (CV) dan konduktivitas elektrik. Hasil dari analisa XRD menunjukkan puncak karbon pada posisi  $2\theta = 20-30^\circ$ , puncak platina terdapat pada posisi  $2\theta = 39,8-40,2^\circ$  dan puncak ruthenium terdapat pada posisi  $2\theta = 52-55^\circ$ . Hasil tes aktivitas katalitik menggunakan metode *Electrochemical Surface Area* (ECSA) menunjukkan luas permukaan aktif katalis didapat pada elektroda Pt-Ru/C dengan rasio Pt:Ru 40% sebesar  $6,572 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{gram}$  dan hasil analisis konduktivitas sebesar 0.0033 S/cm. Uji kinerja pada DMFC mendapatkan nilai OCV (*open circuit voltage*) tertinggi dan nilai arus serta tegangan yang diberi beban bervariasi. Nilai OCV tertinggi dengan rasio Pt:Ru 40% sebesar 8,36 mV.

Kata kunci : *Direct Methanol Fuel Cell*, *Catalyst-Coated Membrane*, *Membrane Electrode Assembly*, platinum, ruthenium

Kepustakaan : 50 (1975-2017)

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Halaman Persetujuan.....	iii
Pernyataan Keaslian Karya Ilmiah.....	Iv
Halaman Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah Untuk Akademis.....	v
Halaman Persembahan.....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Summary.....	ix
Ringkasan.....	x
Daftar Isi.....	Xi
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sel Bahan Bakar.....	4
2.1.1 Jenis-jenis Sel Bahan Bakar.....	5
2.1.2 Cara Kerja Sel Bahan Bakar.....	6
2.2 <i>Direct Methanol Fuel Cell</i> (DMFC).....	6
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Direct Methanol Fuel Cell</i> (DMFC).....	8
2.2.2 Metanol.....	9
2.3 Elektroda.....	9

2.4 Katalis Pt-Ru/C .....	10
2.5 Membran Nafion.....	11
2.6 <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	11
2.6.1 <i>Catalyst-Coated Membrane</i> (CCM) .....	12
2.6.2 Lapisan Difusi Gas.....	13
2.7 Karakterisasi Katalis Pt-Ru/C .....	14
2.7.1 Difraksi Sinar-X (XRD).....	14
2.7.2 Voltametri Siklik (CV) .....	15
2.7.3 Konduktivitas Elektrik.....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.3 Prosedur Penelitian .....	17
3.3.1 Pembuatan Katalis Pt/C, Pt-Ru/C dan Ru/C.....	17
3.3.2 Preparasi <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C Menggunakan Metode <i>Catalyst-Coated Membrane</i> (CCM).....	18
3.3.3 Karakterisasi Kristalografi Katalis Pt-Ru/C, Analisis Voltametri Siklik serta Konduktivitas Elektrik dari Lapisan Katalis.....	19
A. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD).....	19
B. Analisis Siklik Voltametri (CV).....	19
C. Analisis Konduktivitas Elektrik.....	19
3.3.4 Pembuatan perangkat DMFC.....	20
3.3.5 Pengujian Kinerja Sel Tunggal DMFC.....	20
3.4 Analisis Data .....	21
3.4.1 Analisis Siklik Voltametri (CV) .....	21
3.4.2 Nilai Konduktivitas.....	21

3.4.3 Analisis Kinerja MEA.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	24
4.1 Katalis Pt-Ru/C .....	24
4.2 <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C Menggunakan Metode <i>Catalyst-         Coated Membrane</i> (CCM).....	24
4.3 Karakterisasi MEA.....	26
4.3.1 Karakterisasi MEA Menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD).....	26
4.3.2 Pengukuran Sifat Elektrokimia Elektroda Pt-Ru/C Menggunakan Siklik Voltametri (CV).....	27
4.3.3 Konduktivitas Elektrik MEA .....	29
4.4 Aplikasi pada DMFC .....	30
4.4.1 Pengukuran <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV) .....	31
4.4.2 Pengujian Kinerja MEA pada Beban Bervariasi.	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	42
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	63

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Skema Komponen Dasar Sel Bahan Bakar .....	4
Gambar 2. Skema Prinsip Kerja DMFC .....	8
Gambar 3. Skema Struktur MEA .....	12
Gambar 4. Skema CCM .....	13
Gambar 5. Pola Spektrum XRD Katalis Elektroda Pt-Ru/C.....	14
Gambar 6. Skema DMFC.....	20
Gambar 7. Diagram Tafel .....	23
Gambar 8. Dasar Karbon dan GDL.....	25
Gambar 9. Membran yang Telah disemprotkan Katalis (CCM).....	26
Gambar 10. Pola Spektrum XRD pada Katalis (a) Pt/C, (b) Pt-Ru/C Dan (c) Ru/C .....	26
Gambar 11. Diagram Keseluruhan Nilai CV Pt-Ru/C.....	27
Gambar 12. Nilai Konduktivitas Elektrik MEA Pt-Ru/C Terhadap Persentase Komposisi Pt:Ru .....	30
Gambar 13. OCV MEA Pt-Ru/C dengan Variasi Komposisi .....	31
Gambar 14. Kinerja Arus Terhadap Tegangan MEA Pt-Ru/C.....	33
Gambar 15. Keterkaitan Arus Terhadap Daya pada Aplikasi DMFC MEA Pt-Ru/C dengan Komposisi: (a) 100%, (b) 80% (c) 60%, (d) 40%, (e) 20% dan (f) 0%.....	34

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Perhitungan Kandungan Komponen .....	18
Tabel 2. Perhitungan Nilai ESCA Katalis Pt-Ru/C.....	21
Tabel 3. Data Analisis Konduktivitas Katalis Pt-Ru/C.....	21
Tabel 4. Data OCV.....	22
Tabel 5. Data Diagram Tafel.....	22
Tabel 6. Hasil Analisis ECSA pada Elektroda Pt-Ru/C dengan Metode CCM.....	28
Tabel 7. Hasil Pengukuran Nilai Konduktivitas Elektrik MEA Pt/C, Pt-Ru/C dan Ru/C dari Metode CCM pada Variasi Persentase Komposisi Pt:Ru .....	29
Tabel 8. Nilai OCV pada MEA Pt-Ru/C.....	31
Tabel 9. Data Diagram Tafel.....	32



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara terbesar keempat di dunia dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi membuat konsumsi energinya semakin meningkat setiap tahun. Letak geografis Indonesia yang berupa negara kepulauan menguntungkan dari segi sumber energi, namun akibat adanya eksplorasi dan eksploitasi yang dilakukan secara berlebihan telah menyebabkan polusi lingkungan dan sumber energi menjadi terbatas. Pemerintah Indonesia telah mengembangkan berbagai energi terbarukan untuk mengantisipasi krisis energi di masa mendatang, di antaranya menggunakan tenaga air, panas bumi, angin, dan biomasa (Ramadan dan Purwono, 2017).

Sumber energi selain jenis energi di atas, yaitu sel bahan bakar saat ini mulai dilirik oleh pemerintah untuk dikembangkan. Sel bahan bakar merupakan perangkat elektrokimia untuk menghasilkan energi listrik dari reaksi kimia berdasarkan pertukaran muatan listrik yang terjadi di dalam sel bahan bakar. Keuntungan dari penggunaan sel bahan bakar yaitu efisien, rendah atau bahkan tanpa zat keluaran, dan dapat mengurangi efek gas rumah kaca. Energi baru-terbarukan jenis ini memiliki banyak tipe yang umumnya digolongkan berdasarkan jenis elektrolit yang digunakan pada lempengan sel. Salah satu tipe sel bahan bakar adalah *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) (Utomo *et al.*, 2006).

DMFC telah dipertimbangkan sebagai salah satu sistem sel bahan bakar yang ideal sejak pertama kali dikenalkan. DMFC dapat menghasilkan sumber energi listrik dengan cara mengubah bahan bakar metanol pada anoda sel bahan bakar. Penggunaan DMFC dianggap lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar hidrogen yang konvensional, khususnya untuk pengaplikasiannya pada kendaraan (Aricò *et al.*, 2010).

DMFC umumnya menggunakan katalis platinum. Platinum memiliki aktivitas katalitik dan kestabilan yang baik dalam medium asam. Penggunaan platinum pada elektroda sel bahan bakar dianggap kurang cocok karena biayanya yang mahal dan bersifat mudah teracuni karbon monoksida. Sisi aktif logam

platinum sebagai katalis dalam reaksi akan berkurang akibat pembentukan karbon monoksida yang dihasilkan dari metanol. Karbon monoksida dapat menutupi bagian permukaan platinum sehingga menurunkan aktivitas katalitiknya (Choi *et al.*, 2012).

Kinerja platinum dapat dioptimalisasi dengan cara menambahkan jenis logam golongan transisi lain yang dapat bekerja baik pada DMFC, salah satunya adalah rutenium (Wiberg, 2014). Katalis Pt-Ru/C masih menjadi obyek penelitian lebih lanjut sebagai anoda sel bahan bakar. Penggunaan katalis ini berguna untuk meningkatkan fungsi katalis elektroda dan mengurangi kandungan platinum (Chakraborty *et al.*, 2005).

DMFC memiliki *Membrane Electrode Assembly* (MEA) sebagai salah satu komponen terpenting yang dapat berdampak besar bagi kinerja sel (Pak *et al.*, 2012). MEA merupakan membran elektrolit yang telah disemprotkan katalis di kedua sisinya dan diapit oleh dua buah elektroda (anoda dan katoda). Suatu MEA dikatakan efektif apabila aliran gas reaktan yang bergerak dari saluran gas menuju lapisan katalis melewati lapisan difusi gas (GDL) seimbang dengan proton yang dihasilkan dari anoda (Pratama, 2018). Pembuatan Pt-Ru/C secara MEA dapat dilakukan dengan beberapa teknik, antara lain *spraying* (penyemprotan), elektrodeposisi, impregnasi, dan membran berlapis katalis atau *Catalyst-Coated Membrane* (CCM). Penelitian yang dilakukan oleh Saputra (2017) menunjukkan bahwa Pt-Ru/C yang di preparasi dengan cara penyemprotan, elektrodeposisi dan impregnasi menghasilkan komposisi Pt:Ru sebanyak 60%:40% sebagai komposisi terbaik. Kinerja yang dihasilkan belum maksimum sehingga dilakukan preparasi dengan teknik CCM. Proses pembuatan katalis pada MEA menggunakan teknik CCM memiliki kelebihan dibandingkan teknik lain karena dapat meningkatkan daerah reaksi elektroda sehingga menghasilkan peningkatan kinerja DMFC (Bladergroen *et al.*, 2012).

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan daerah reaksi MEA yang telah disemprot dengan katalis Pt-Ru/C menggunakan metode CCM. Selain itu, dilakukan karakterisasi membran dan uji kinerja MEA yang telah dihasilkan untuk mengetahui kondisi operasi yang ideal pada DMFC (Liu *et al.*, 2012).

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan oleh Wiberg (2014) menunjukkan bahwa penggunaan elektrokatalis bimetal seperti Pt-Ru memiliki aktivitas katalitik yang cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan platinum tunggal. Dalam penelitian ini diharapkan dapat menganalisis penggunaan katalis Pt-Ru/C pada dengan metode CCM. MEA dikarakterisasi untuk mengetahui struktur kristalografi melalui analisa Difraksi Sinar-X (XRD). Analisis kinerja katalis dilakukan dengan Voltametri Siklik (CV) dan konduktivitas elektrik, sedangkan pengujian kinerja MEA dilakukan dengan analisis *Open Circuit Voltage* (OCV) atau keadaan tanpa beban dan pada daya pada beban bervariasi serta arus.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mempreparasi MEA dengan Katalis Pt-Ru/C menggunakan metode CCM.
2. Mengkarakterisasi kristalografi katalis dengan XRD.
3. Menguji kinerja katalis dengan analisis CV dan analisis konduktivitas elektrik.
4. Mengukur kinerja MEA pada DMFC melalui analisis OCV dan daya pada beban bervariasi serta arus.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan berupa DMFC dengan menggunakan katalis Pt-Ru/C dengan metode CCM yang mudah dan menghasilkan kinerja memuaskan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, S.H., I. Choi., O. J. Kwon., and J. J. Kim. 2011. One-step Co-electrodeposition on carbon Paper for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Chemical Engineering Journal*. 181(182) : 276-280.
- Aricò, A. S., Baglio, V., and Antonucci, V. 2010. Direct Methanol Fuel Cells. *inter. Journal Electrochem Sci*. 1(2006) : 150–159.
- Bai, R., Wan, L., Li, H., Zhang, Z., and Ma, Z. 2007. Identify the Injury Implements by SEM/EDX and ICP-AES. *Forensic Science International*, 166(1) : 8–13.
- Basri, S., Kamarudin, S. K., Daud, W. R. W., Yaakob, Z., and Kadhum, a. a. H. (2014). Novel Anode Catalyst for Direct Methanol Fuel Cells. *The Scientific World Journal*. 2014(1) : 1–8.
- Becker, C. E. 2011. Methanol Poisoning Overview. *The Journal of Emergency Medicine*. Vol (1) : 51-58.
- Behera, P. R., Dash, R., Ali, S. M., and Mohapatra, K. K. 2014. A Review on Fuel Cell and Its Applications. *IJRET*. 3(3) : 562-565.
- Bessarabov, D., and Hitchcock, A. 2009. Advances in Structural and Chemical Analysis of Catalyst-Coated Membranes for Hydrogen Fuel Cell Applications. *Membrane Technology*. Vol (1) : 6-12.
- Bladergroen, B., Su, H., Pasupathi, S., and Linkov, V. 2012. Overview of Membrane Electrode Assembly Preparation Methods for Solid Polymer Electrolyte Electrolyzer. *Electrolysis Journal*. 1(1) : 45-60.
- Chakraborty, D., Bischoff, H., Chorkendorff, I., and Johannessen, T. (2005). Mixed Phase Pt-Ru Catalyst for Direct Methanol Fuel Cell Anode by Flame Aerosol Synthesis. *Journal of The Electrochemical Society*, 152(12) : 23-57.
- Cheng, X. C. Peng., M. You., L. Liu., Y. Zhang., and Q. Fang. 2005. Characterization of Catalysts and Membrane in DMFC Lifetime Testing.

*Electrochimica Acta*. 5(1) : 4620-4625.

- Cook, B. 2001. *An Introduction to Fuel Cells and Hydrogen Technology*. Canada : Heliocentris.
- Deshpande, S. S., Khopkar, S. S., and Shankarling, G. S. 2017. A Thiazoloquinoline Based “Turn-On” Chemodosimeter for Detection of Copper Ions. *Dyes and Pigments*. 147(1) : 393–399.
- Dewi, Listiani E. dan Lies A. Wisojodharmo. 2008. Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Platna Karbon pada DMFC. *Skripsi*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Dhuhita, A dan Arti, D. K. 2010. Karakterisasi dan Uji Kinerja SPEEK, eSMM dan Nafion Untuk Aplikasi Direct Methanol Fuel Cell. *Skripsi*. Universitas Diponegoro.
- Direct, I. V. J., Fuel, M., Zelenay, P., Contact, P., Brosha, E., Davey, J., and Garland, N. 2004. DMFC and SOFC. *DOE Hydrogen Program*. 1(1) : 591–598.
- Eduardo I. Ortiz-Rivera, Angel L. Reyes-Hernandez, and Rey A. Febo, I. S. M. 2007. Understanding the History of Fuel Cells. *Dept. Elect & Comp. Eng.* 2(2) : 117–122.
- Ewing, A. G., M. A. Dayton., and R. M. Wightman. 1975. Pulse Voltammetry with Microvoltammetric Electrodes. *Analytical Chemistr Journal*. 53(12) : 1842-1847.
- Giorgi, L., and Leccese, F. 2013. Fuel Cells: Technologies and Applications. *The Open Fuel Cells Journal*. 6(1) : 1–20.
- Hogarth, M. P. and G. A Hards. 1996. DMFC Technological Advances and Further Requirments. 40(4) : 150-159.
- Indayaningsih, N., Irmawati, Y., dan Destyorini, F. 2016. Performance of Gas Diffusion Layer Derived From Carbon. *APRN Journal of Engineering and*

*Applied Sciences*. 11(6) : 4040–4044.

- Jones, W. K., Savaram, N., and Munroe, N. 2007. A Direct Methanol Fuel Cell Using Cermet Electrodes in Low Temperature Cofire Ceramics. *Dept. of Mechanical and Materials Engineering*. 9(1) : 1-2.
- Joshi, N. R. 2014. Development in Direct Methanol – Oxygen Fuel Cell (DMFC). *IOSR Journal of Applied Chemistry Ver. II*. 7(9) : 24–26.
- Jow, J. J., Yang, S. W., Chen, H. R., Wu, M. S., Ling, T. R., and Wei, T. Y. 2009. Co-electrodeposition of Pt-Ru Electrocatalysts in Electrolytes with Varying Compositions by A Double-Potential Pulse Method for the Oxidation of MeOH and CO. *International Journal of Hydrogen Energy*. 34(2) : 665–671.
- Jun, Y., Yan, F., and Hui, L. I. U. 2017. Researchers Develop Selective Electrocatalysts to Boost Direct Methanol Fuel Cell Performance. *Chinese Academy of Science*. 1(1) : 1-2.
- Kim, J. H., Kim, H. K., Hwang, K. T., and Lee, J. Y. 2010. Performance of Air-Breathing Direct Methanol Fuel Cell with Anion-Exchange Membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(2) : 768–773.
- Khopkar, S. M. 1985. Basic Concepts of Analytical Chemistry. Jakarta : UI-Press.
- Litster, S., and McLean, G. 2004. PEM Fuel Cell Electrodes. *Journal of Power Sources*. 130(1–2) : 61–76.
- Liu, G., Wang, M., Wang, Y., Ye, F., Wang, T., Tian, Z., and Wang, X. 2012. Anode Catalyst Layer with Novel Microstructure for A Direct Methanol Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(10) : 8659–8663.
- Liu, M., Lei, J., Guo, L., Du, X., and Li, J. 2015. The Application of Thermal Analysis XRD and SEM to Study the Hydration Behavior of Tricalcium Silicate in the Presence of a Polycarboxylate Superplasticizer. *Thermochimica Acta*. 613(1) : 54–60.
- Manurung, Posman. 2011. Difraktorgram Sinar-X dan Mikrostruktur Timah

Dioksida dengan Penambahan Fe. *Jurnal Ilmu Dasar*. 12(1) : 91-96.

Mohite, B. S., Burungale, S. H., Mane, S. G., and Patil, P. N. 2000. Solvent Extraction Separation of Barium(II) from Associated Elements Using 15-crown-5 from Picrate Medium. *Indian Journal of Chemistry - Section A Inorganic, Physical, Theoretical and Analytical Chemistry*. 39(5) : 554–556.

Mulyani, R., Buchori., I. Noviandri., dan Ciptati. 2012. Studi Tametri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat dalam Berbagai Elektroda dan Elektrolit Pendukung. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*. 15(1) : 51-56.

Pak, C., You, D. J., Choi, K. H., and Chang, H. 2012. High Performance Membrane Electrode Assemblies by Optimization of Processes and Supported Catalysts. *Hydrogen Energy Challenges and Perspectives*. 1(1) : 259-278.

Park, Joon Hyun., Piraman Shakkthival., hyun Jong Kim., Myung Keun Han., Jae Hyuk Jung., Yong Kok Kim., Han Sung Kim., and Yong Gun Shul. 2008. Investigation of Metal Alloy Catalyst for Hydrogen Release from Sodium Borohydrate for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33(7) : 1845-1852.

Pratama, Bayu. 2018. Pembuatan dan Pengujian Membrane Electrode Assembly (MEA) Untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Katalis Pt-Ni/C. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.

Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K. and Raharjo, j. 2016. Comparison of the Performance of PEMFC Electrode with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. 1(3) : 61-66.

Sajgure, M., Kachare, B., Gawhale, P., Waghmare, S., and Jagadale, G. 2016. Direct Methanol Fuel Cell: A Review. *International Journal of Current Engineering and Technology INPRESSCO IJCET Special Issue*. 6(6) : 2277–4106.

- Saputra, Willy. 2017. Pembuatan Dan Karakterisasi Elektroda Pt-Ru/C Dengan Metode Impregnasi Dan Uji Kinerja Elektroda Pada Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.
- Sethuraman, V. A., and Zee, J. W. Van. 2005. Membrane Electrode Assembly. *Kobunshi*. 54(5) : 882–882.
- Sheldon, Daniel. 2017. Methanol Production-A Technical History. *Johnson Matthey Technol.* 61(3) : 172-182.
- Solomon, S., Suresh, M. K., Thomas, J. K., Prasad, V. S., and Wariar, P. R. S. 2012. Synthesis, Structural Analysis and Dielectric Properties of  $Ba_8(Mg_{1-x}Zn_x)Nb_6O_{24}$  Hexagonal Perovskites. *Ceramics International*. 38(8) : 6487–6494.
- Song, Chaojie and JiuJun Zhang. 2008. Electrocatalytic Oxygen Reduction Reaction. *The Scientific Journal*. 1(1) : 89–134.
- Sun, L., Ran, R., and Shao, Z. 2010. Fabrication and Evolution of Catalyst-Coated Membranes by Direct Spray Deposition of Catalyst Ink onto Nafion Membrane at High Temperature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(7) : 2921–2925.
- Surya Ramadan, B. and Purwono. 2017. Challenges and Opportunities of Microbial Fuel Cells (MFCs) Technology Development in Indonesia. *MATEC Web Conference*. 101(1) : 1-5.
- Utomo, A. R., Ardita, I. M., and Hudaya, C. 2006. Studies on Fuel Cell Technology to Produce Electricity Using Supercritical Water Gasification of Biomass Empty Fruit Bunch Palm Oil as Hydrogen Production. *The 2nd Indonesian Japan Joint Sci. Symposium*. 1(1) : 1-4.
- Vielstich, W. 2003. Review Electrochemical Energy Conversion – Methanol Fuel Cell as Example. *J. Braz Chem Soc*. 14(4), 503–509.
- Wiberg, B. 2014. Pt and Pt-Ru Based Catalyst for DMFC. *Arcada Working Papers*. 58(8) : 1–7.



- Zainoodin, A. M., Kamarudin, S. K., and Daud, W. R. W. 2011. Electrode in Direct Methanol Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(10) : 4606–4621.
- Zhang, J., Yin, G., Wang, Z., and Shao, Y. 2006. Effects of MEA Preparation on the Performance of a Direct Methanol Fuel Cell. *Journal of Power Sources*. 160(2) : 1035–1040.
- Zheng, W. 2012. A Novel Structure of a Direct Methanol Fuel Cell : Design, Research and Assembly. *Thesis*. Annales Universitatis Turkuensis.