

**UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) PADA
PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) DENGAN
KATALIS *Pt-Black/C* DAN *Pt/C***

SKRIPSI

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



Oleh :

ENGGI MELANDO

08031381722077

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) PADA
PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) DENGAN
KATALIS *Pt-Black/C* DAN *Pt/C***

SKRIPSI

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

Oleh:

Enggi Melando

08031381722077

Indralaya, 17 Januari 2022

Pembimbing I



Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Dr. Heni Yohandini, M.Si

NIP. 197011152000122004

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dengan Katalis Pt-*Black/C* dan Pt/C” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 28 Desember 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 17 Januari 2022

Ketua:

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



Anggota:

2. **Dr. Heni Yohandini, M.Si**
NIP. 197011152000122004



3. **Dr. Ady Mara, M.Si**
NIP. 196404301990031003



4. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si**
NIP. 197211092000032001



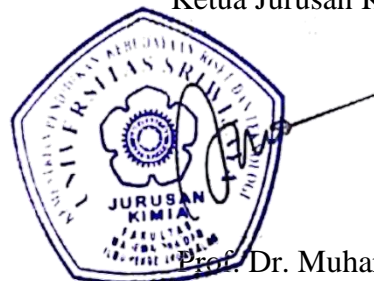
Mengetahui,

Dekan FMIPA



Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M. Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Enggi Melando

NIM : 08031381722077

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 sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 17 Januari 2022

Penulis



Enggi Melando

NIM. 08031381722077

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Enggi Melando
NIM : 08031381722077
Fakultas/ Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* Pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* dengan Katalis *Pt-Black/C* dan *Pt/C*”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusive 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 17 Januari 2022



Enggi Melando
NIM. 08031381722077

SUMMARY

PERFORMANCE TEST OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) WITH Pt-Black/C AND Pt/C CATALYST

Enggi Melando: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T

Dr. Heni Yohandini, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xvii + 49 pages, 4 tables, 7 pictures, 15 appendices

The test on performance of Membrane Electrode Assembly (MEA) on Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) with Pt-Black/C and Pt/C catalyst has been done. The study was conducted by four MEA. The first MEA used a Pt-Black/C catalyst on the anode side and Pt/C on the cathode side used the CCM method. The second MEA used a Pt/C catalyst on the anode and cathode side with the CCM method. The third MEA used a Pt-Black/C catalyst on the anode and Pt/C cathode sides with the Spraying method. The fourth MEA used a Pt/C catalyst on the anode and cathode sides with the Spraying method. The four MEA were characterized using the Cyclic Voltammetry (CV) method to calculate the value of Electrochemical Surface Area (ECSA) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to calculate the conductivity value. MEA performance test was also carried out based on the I-V and I-P performance curves. MEA performance test was carried out by measuring the OCV value and maximum power density. The ECSA values for MEA by sequentially Pt-Black/C CCM, Pt/C CCM, Pt-Black/C spraying and Pt/C spraying is 2.248 cm²/g, 1.523 cm²/g, 1.524 cm²/g and 0.410 cm²/g, while the OCV value obtained is 0.846 V, 0.725 V, 0.812 V and 0.715 V. The values obtained for successive performance tests at a maximum power density of 0.1265 mW/cm², 0.11 mW/cm², 0.1246 mW/cm² and 0.083 mW/cm², while for the optimum current of 0.37 mA/cm², 0.35 mA/cm², 0.31 mA/cm² and 0.21 mA/cm². Based on OCV, I-V and I-P tests the performance of PEMFC using MEA Pt/Black/C was better than MEA Pt/C.

Keywords : PEMFC, MEA, CCM, Spraying, Pt-Black/C.

Citation : 38 (2001-2021)

RINGKASAN

UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) PADA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC) DENGAN KATALIS Pt-*Black/C* DAN Pt/C

Enggi Melando: dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T

Dr. Heni Yohandini Kusumawati, M.Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xvii + 49 halaman, 4 tabel, 7 gambar, 15 lampiran

Pengujian kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dengan katalis Pt-*Black/C* dan Pt/C telah dilakukan. Penelitian dilakukan menggunakan empat buah MEA. MEA pertama menggunakan katalis Pt-*Black/C* pada sisi anoda dan Pt/C pada sisi katoda dengan metode CCM. MEA kedua menggunakan katalis Pt C pada sisi anoda dan katodanya dengan metode CCM. MEA ketiga menggunakan katalis Pt-*Black/C* pada sisi anoda dan Pt/C pada sisi katodanya dengan metode *spraying*. MEA keempat menggunakan katalis Pt/C pada sisi anoda dan katodanya dengan metode *spraying*. Keempat MEA tersebut dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menghitung nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menghitung nilai konduktivitas. Dilakukan pula uji kinerja MEA berdasarkan kurva I-V dan I-P *performance*. Uji kinerja MEA dilakukan dengan mengukur nilai OCV dan densitas daya maksimum. Diperoleh nilai ECSA untuk MEA Pt-*Black/C* CCM, Pt/C CCM, Pt-*Black/C spraying* dan Pt/C *spraying* secara berurutan sebesar 2,248 cm²/g, 1,523 cm²/g, 1,524 cm²/g dan 0,410 cm²/g, sedangkan untuk nilai OCV yang didapat sebesar 0,846 V, 0,725 V, 0,812 V dan 0,715 V. Nilai yang diperoleh untuk uji kinerja secara berurutan pada densitas daya maksimum sebesar 0,1265 mW/cm², 0,11 mW/cm², 0,1246 mW/cm² dan 0,083 mW/cm², sedangkan untuk arus optimum sebesar 0,37 mA/cm², 0,35 mA/cm², 0,31 mA/cm² dan 0,21 mA/cm². Berdasarkan OCV, uji I-V dan I-P *performance* kinerja PEMFC menggunakan MEA Pt/*Black/C* lebih baik dibandingkan kinerja MEA Pt/C.

Kata kunci : PEMFC, MEA, CCM, *Spraying*, Pt-*Black/C*.

Sitasi : 38 (2001-2021)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim.

“Sebaik Baik Manusia Adalah Yang Paling Bermanfaat Bagi Orang Lain” (HR. Ahmad)

Skripsi ini sebagai salah satu bentuk rasa syukur kepada Allah *Azza Wa Jalla* atas segala nikmat di dalam hidup ini.

Dan kupersembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, yang mana tidak mampu saya balas semua kebaikan mereka, semoga Allah selalu melimpahkan Kasih Sayang-Nya kepada mereka.
2. Seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Dosen pembimbing.
4. Rekan-rekan seperjuangan.
5. Almamater dan Negara tercinta.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Mencinta. Pengetahuan-Nya mencakup apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi dan apa yang ada diantara keduanya. Ia mengetahui apa yang nyata dan apa yang tersembunyi. Ia telah menciptakan atom dan apa yang ada di dalamnya (elektron, proton dan neutron). Ia pula yang telah mengatur segala tatanan yang ada di tata surya, bintang-bintang, planet-planet dan satelit-satelit semua bertasbih memuji nama-Nya, serta Ia mengetahui rahasia yang ada pada *Black Hole*. Ia pula Sang Pemilik dan Pengatur Waktu. Ia membuat tanaman hidup di musim semi yang indah dan Ia pula yang membuat Jantung berdetak sehingga darah dapat mengalir. Betapapun ilmu pengetahuan manusia mengklaim sudah canggih, namun tidak dapat membuat sebuah jantung berdetak tanpa seizin-Nya. *“Dan seandainya pohon-pohon di bumi dijadikan pena dan lautan (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh lautan (lagi) setelah (keringnya) niscaya tidak akan habis-habisnya untuk menuliskan kalimat-kalimat Allah”* Q.S Luqman: 27. Maha Suci Allah dengan segala firman-Nya.

Alhamdulillah dengan segala nikmat yang diberikan Allah, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dengan Katalis Pt-Black/C dan Pt/C” yang dengan segala keterbatasannya. Penulis menyadari bahwa karya manusia tidak ada yang sempurna dan sangat jauh dari kata tersebut. Selama proses penulisan skripsi ini penulis dibimbing oleh Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** dan Ibu **Dr. Heni Yohandini, M.Si** yang telah banyak membantu dan penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya, dimana mereka sudah dianggap seperti orang tua sendiri.

Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan nabi-Nya, Muhammad Saw atas segala rahmat dan ridho-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Kedua orang tua yang dengan perantara mereka penulis dapat lahir ke dunia.
3. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.

4. Ibu Prof. Dr. Murharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Ady Mara, M.Si. dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si., selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
7. Seluruh Dosen dan staf FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
8. Orang baik yang telah hadir di dalam hidupku, yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, semoga Allah lah yang membalas kebaikan kalian
9. Grup “Besok Kemano Kito” (Ajeng, Anis, Rafiq, Rezaldi, Vania, Diki, Alox, Dwi, Hilda, Iqbal, Maaruf, Annisa Al, Desi dan Fitra) yang telah kebersamaai ketika memasuki semester senja, yang kalau diajak kemana saja selalu gas, makasih banyak loh, kalian terbaik pokoknya. Aku bahagia menjadi bagian dari kalian, masuk dalam sirkel pertemanan kalian. *Love u so much.*
10. Pasukan “Animator” (Aliansi Penghuni Rumah Rektor) (Kak Hendi, Kak Ahmad, Kak Pras, Kak Erik, Kak Rio, Syeikh Medi, Dika, Santok, Edo, Yoga, Fajrul, Irsan) makasih banyak atas kebaikan kalian. Telah dididik untuk hidup bersih, rapi, menghadirkan rasa kekeluargaan di tanah rantau. Terima kasih sudah diajak untuk tinggal bersama sejak dari semester 3. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.
11. Team PUR’17 (Dilla, Roma, Ayu, Nimyo, Vadia, Saumi, Indra, Resti, Oik) meskipun ada rintangan yang kita hadapi, Alhamdulillah kita bisa mencapai titik ini. Telah banyak suka dan duka yang kita rasakan. Terimakasih, Sukses kedepannya team.
12. Kak Dwi, Kak Reka, Kak Icha, Kak Dea, Kak Wulan, Kak Wini, Kak Yuni, terimakasih atas segala bantuannya dan bimbingannya selama penelitian, semoga PUR menjadi semakin maju lagi.
13. Kepada Kak Alam, yang sudah dianggap seperti kakak sendiri. Sudah kenal semenjak dari SMA sampai kuliah senantiasa selalu membantu dan selalu ada menjadi tempat berbagi cerita dan keluh kesah.

14. Rekan-rekan Kimia Angkatan 2017, rekan-rekan di BEMU, rekan-rekan di BEM Fakultas, rekan-rekan di LDF, rekan-rekan di KSE senusantara yang pernah ikut Camp bersama dan seluruh rekan-rekan di organisasi yang pernah berjuang bersama. Terima kasih telah berjuang dan tumbuh bersama.
15. Tim KP (Jumik, Tatak, Roma, Dinda Ajeng) salah satu episode yang menyenangkan di masa perkuliahan ini, senang dan bahagia bisa KP bersama kalian, pokoknya jangan takut melakukan kegilaan, nekat be.
16. Kepada Mbak Novi dan Kak Cosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.

Semoga apa saja yang telah kalian berikan kepada penulis dapat menjadi amal dan pahala. Dengan segala kerendahan hati penulis sangat menyadari bahwa karya ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata sekali lagi penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan maaf yang sedalam-dalamnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapa saja. Aamiin.

Indralaya, Januari 2022



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sel Elektrokimia	5
2.2 <i>Fuel Cell</i>	6
2.2 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i>	7
2.3 Catalyst Coated Membrane (CCM) dan Spraying	10
2.4 Katalis Pt/C dan Pt- <i>black</i>	10

2.5 Karakterisasi Elektroda	11
2.5.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	11
2.5.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat.....	13
3.2.2 Bahan	13
3.3 Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1 Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i>	13
3.3.2 Preparasi Tinta Katalis <i>Pt-Black/C</i>	14
3.3.3 Preparasi Tinta Katalis <i>Pt/C</i>	14
3.3.4 Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA).....	14
3.3.4.1 Pembuatan MEA Menggunakan Metode <i>Spraying</i> /Penyemprotan ...	14
3.3.4.2 Pembuatan MEA dengan Metode CCM	15
3.4 Karakterisasi MEA	15
3.4.1 Karakterisasi Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	15
3.4.2 Karakterisasi Menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	16
3.5 Pengujian Kinerja MEA	16
3.6 Analisis Data	16
3.6.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	16
3.6.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	17
3.7 Analisis Kerja MEA	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18

4.1 Pembuatan GDL dan Elektroda Menggunakan Metode CCM dan metode <i>Spraying</i>	18
4.2 Karakterisasi MEA Menggunakan Metode CV	19
4.3 Karakterisasi MEA Menggunakan Metode EIS	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan.....	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perhitungan nilai ECSA.....	16
Tabel 2. Nilai ECSA	22
Tabel 3. Perhitungan Nilai Konduktivitas MEA.....	23
Tabel 4. Nilai OCV MEA	24

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram skematis <i>fuel cell</i>	7
Gambar 2. Struktur PEMFC.....	9
Gambar 3. MEA	20
Gambar 4. Kurva Voltammogram.....	21
Gambar 5. Kurva <i>Nyquist</i>	23
Gambar 6. Kurva I-V MEA	25
Gambar 7. Kurva I-P MEA	27

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Kerja	34
Lampiran 2. Perhitungan Nilai ECSA Karakterisasi CV	36
Lampiran 3. Perhitungan Nilai Konduktivitas Karakterisasi EIS	44
Lampiran 4. Gambar Alat Penelitian	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi hidrogen dianggap sebagai salah satu sumber energi yang paling menjanjikan di abad ini karena sumbernya yang luas (Chen *et al.*, 2019). Banyak penelitian menunjukkan bahwa hidrogen dapat digunakan sebagai penyedia sumber energi yang stabil, efisien, tidak berpolusi untuk kendaraan listrik melalui pembakaran langsung atau sebagai sumber energi untuk *fuel cell* (Chen *et al.*, 2018). *Fuel cell* dapat menjadi pengganti untuk sistem energi yang dijalankan dengan bahan bakar fosil, alasannya *fuel cell* ramah lingkungan tanpa emisi karena bahan bakar yang bersih berasal dari hidrogen. *Fuel cell* adalah perangkat elektrokimia yang menghasilkan listrik menggunakan hidrogen dan oksigen melalui reaksi elektrokimia. *Fuel cell* berbeda dengan baterai karena tidak perlu diisi ulang dan efisien, dan bila hidrogen digunakan sebagai bahan bakar, sel tersebut hanya menghasilkan tenaga listrik dan air (Benchouia *et al.*, 2015). *Fuel cell* dibedakan berdasarkan jenis elektrolit dan bahan bakar yang digunakan, seperti *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), *Microbial Fuel Cell* (MFC) dan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) (Ong *et al.*, 2017).

PEMFC merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang menggunakan proton sebagai konduktor yang melewati membran dari bahan polimer yang berfungsi sebagai elektrolit dari anoda dan katoda (Daud *et al.*, 2004). Komponen utama pada PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA adalah gabungan antara dua elektroda (katoda dan anoda) yang mengapit kedua sisi pada membran elektrolit. MEA berfungsi secara efisien mengontrol aliran elektron yang dibebaskan pada reaksi oksidasi di membran elektrolit (Rohendi *et al.*, 2013). Membran elektrolit polimer berfungsi sebagai elektrolit untuk mentransfer proton dari anoda ke katoda dan memberikan penghalang untuk lewatnya elektron dan bahan bakar (Devrim and Albostan, 2015). Peran MEA sangat penting, oleh karena

itu MEA perlu lebih diperhatikan dalam hal upaya pencapaian kerapatan arus (*current density*) yang tinggi dan daya tahannya (Aghighi *et al.*, 2016). Hal yang perlu dikaji untuk menghasilkan MEA dengan kinerja tinggi adalah kandungan dan jenis katalis serta metode pembuatannya (Rohendi *et al.*, 2013). MEA terdiri dari *Gas Diffusion Layer* (GDL). GDL biasanya berupa kertas berbasis serat karbon dan bertindak memberi jarak untuk memungkinkan reaktan gas mencapai daerah lapisan katalis dan sebagai jembatan untuk memungkinkan akses elektron ke situs katalis melalui saluran gas. (Aghighi *et al.*, 2016).

Salah satu bagian yang sangat mempengaruhi kinerja MEA yakni katalis. Lapisan katalis merupakan komponen utama dalam PEMFC, yang merupakan tempat proses konversi bahan bakar menjadi energi listrik (Ye *et al.*, 2017). Platina (Pt) adalah bahan katalis yang sering digunakan pada anoda dan katoda dalam *fuel cell*, untuk mengkatalisis reaksi oksidasi dan reduksi (Okonkwo *et al.*, 2021). Bahan pendukung katalis sangat mempengaruhi biaya, kinerja, dan daya tahan PEMFC (Samad *et al.*, 2018) oleh karena itu ditambahkan karbon sebagai bahan pendukungnya. Salah satu katalis yang sering digunakan dalam pembuatan MEA pada *fuel cell* adalah katalis Pt/C karena dikenal dapat menghasilkan performa *Oxygen Reduction Reaction* (ORR) yang tinggi. Akan tetapi katalis ini memiliki beberapa kekurangan diantaranya cadangan terbatas dan mahal. Katalis Pt/C memiliki luas permukaan 25-34 m²/g dan ukuran partikel sebesar 9-10 μm (Vietanti, 2020).

Selain Pt/C digunakan pula katalis Pt-*Black*/C. Lapisan Pt-*Black* dilapiskan pada elektroda untuk memperbaiki karakteristik elektroda lebih lanjut (Rui *et al.*, 2012). Penelitian yang telah dilakukan oleh Narayanan and Basu (2017) katalis Pt-*Black* dijadikan sebagai anoda pada PEMFC. Menurut Yasuda *et al.*, (2006) Pt-*Black* memiliki sifat katalitik yang baik, karena jumlah *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dari lapisan katalis Pt-*Black* yang tinggi yaitu sebesar 45-52 m²/g dan ukuran partikel sebesar 5-7,5 nm. Pt-*Black* adalah bubuk platinum yang sangat halus, sering digunakan untuk katalisis karena luas permukaannya yang besar dibandingkan dengan platinum, memiliki tampilan berwarna hitam (Han and Han, 2001). Platinum dan platina *black* semuanya terbuat dari platinum murni. Karena

reaksi katalitik terjadi pada permukaan partikel platinum, luas permukaan yang lebih tinggi memberikan laju reaksi yang lebih cepat (Ilic *et al.*, 2000).

Terdapat beberapa metode dalam pembuatan elektroda antara lain *coating* dan *spraying*. Metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM) merupakan salah satu metode *coating* dimana lapisan katalis secara langsung diaplikasikan pada kedua sisi membran elektrolit (nafion). Metode CCM menghasilkan kinerja sel yang lebih tinggi karena pemanfaatan katalis yang lebih tinggi dan pembentukan antarmuka katalis yang lebih baik. Sementara itu, *spraying* dipilih karena metode ini sangat sederhana sehingga mudah digunakan serta pendistribusian katalisnya yang homogen dan ukuran partikelnya lebih kecil sehingga tinta katalis yang disemprotkan diharapkan dapat tersebar secara merata pada permukaan (Kim *et al.*, 2010).

Pengukuran yang dilakukan menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV), merupakan teknik voltametri, dimana arus diukur selama *scanning* potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal. Dengan demikian arus katodik maupun anodik dapat terukur (Riyanto, 2013). Juga dilakukan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dimana karakterisasi ini dilakukan untuk mendeteksi kemampuan dari suatu elektroda yang telah dilapisi katalis dalam menghantarkan listrik serta dapat mengetahui sifat ketahanan terhadap korosi pada elektroda dari kurva yang dihasilkan (Bredar *et al.*, 2020). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pembuatan MEA dengan katalis Pt-*Black/C* dan Pt/C untuk dilihat hasil keduanya dengan metode CCM dan *spraying* serta dilakukan karakterisasi dan uji kinerja elektroda dan MEA.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana karakteristik MEA dengan katalis Pt-*Black/C* dan Pt/C yang dibuat dengan metode *spraying* dan CCM?
2. Bagaimana hasil kinerja MEA yang dibuat dengan metode *spraying* dan CCM pada katalis Pt-*Black/C* dan Pt/C?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan karakterisasi MEA dengan katalis Pt-Black/C dan Pt/C menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan pengukuran konduktivitas menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).
2. Mengetahui kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan metode *spraying* dan CCM pada katalis Pt-Black/C dan Pt/C.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi katalis Pt-Black/C dan Pt/C dengan metode CCM dan metode *spraying* membran dalam pengembangan *fuel cell* kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghighi, M., Hoeh, M. A., Lehnert, W., Merle, G., & Gostick, J. (2016). Simulation of a Full Fuel Cell Membrane Electrode Assembly Using Pore Network Modeling. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(5), F384–F392.
- Basri, S., Hazri, N. S., Selladurai, S. R., Zainoodin, A. M., Kamarudin, S. K., Zakaria, S. U., & Hashim, A. R. (2020). Analysis of Mg(OH)₂ deposition for Magnesium Air Fuel Cell (MAFC) by Saline Water. *Sains Malaysiana*, 49(12), 3105–3115.
- Bayu, A., Darmawan, D., Qurthobi, A., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2017). *Perancangan Dan Implementasi Alat Ukur State of Charge Sistem Pengawasan Pada Baterai Lead Acid Menggunakan Metode Open Circuit Voltage*. 4(1), 752–760.
- Benchouia, N. E., Derghal, A., Mahmah, B., Madi, B., Khochemane, L., & Hadjadj Aoul, E. (2015). An adaptive fuzzy logic controller (AFLC) for PEMFC fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(39), 13806–13819.
- Bredar, A. R. C., Chown, A. L., Burton, A. R., & Farnum, B. H. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*, 3(1), 66–98.
- Chang, B. Y., & Park, S. M. (2010). Electrochemical impedance spectroscopy. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 3(1), 207–229.
- Chen, Z., Yang, M., Zhu, T., Zhang, Z., Chen, X., Liu, Z., Dong, Y., Cheng, G., & Cheng, H. (2018). 7-ethylindole: A new efficient liquid organic hydrogen carrier with fast kinetics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(28), 12688–12696.
- Daud, W. R. W., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Chebbi, R., & Iyuke, S. E. (2004). Performance optimisation of PEM fuel cell during MEA fabrication. *Energy Conversion and Management*, 45(20), 3239–3249.
- Devrim, Y., & Albostan, A. (2015). Enhancement of PEM fuel cell performance at higher temperatures and lower humidities by high performance membrane electrode assembly based on Nafion/zeolite membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(44), 15328–15335.
- Easton, E. B., Fruehwald, H. M., Randle, R., Saleh, F. S., & Ebralidze, I. I. (2020). Probing the degradation of carbon black electrodes in the presence of chloride by electrochemical impedance spectroscopy. *Carbon*, 162, 502–509.
- Gradiniar, A., & Ardhyananta, H. (2013). Pengaruh Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon / Epoksi sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC)). *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 0–4.

- Han, K. S., & Han, O. H. (2001). Influence of metal cleaning on the particle size and surface morphology of platinum black studied by NMR, TEM and CV techniques. *Electrochimica Acta*, 47(3), 519–523.
- Hosseini, M. G., & Mahmoodi, R. (2017). The comparison of direct borohydride-hydrogen peroxide fuel cell performance with membrane electrode assembly prepared by catalyst coated membrane method and catalyst coated gas diffusion layer method using Ni@Pt/C as anodic catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 10363–10375.
- Ilic, B., Czaplewski, D., Neuzil, P., Stanczyk, T., Blough, J., & Maclay, G. J. (2000). Preparation and characterization of platinum black electrodes. *Journal of Materials Science*, 35(14), 3447–3457.
- Kakati, N., Maiti, J., Lee, S. H., Jee, S. H., Viswanathan, B., & Yoon, Y. S. (2014). Anode catalysts for direct methanol fuel cells in acidic media: Do we have any alternative for Pt or Pt-Ru? *Chemical Reviews*, 114(24), 12397–12429.
- Kim, K. H., Lee, K. Y., Kim, H. J., Cho, E. A., Lee, S. Y., Lim, T. H., Yoon, S. P., Hwang, I. C., & Jang, J. H. (2010). The effects of Nafion® ionomer content in PEMFC MEAs prepared by a catalyst-coated membrane (CCM) spraying method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(5), 2119–2126.
- Liang, H., Su, H., Pollet, B. G., & Pasupathi, S. (2015). Development of membrane electrode assembly for high temperature proton exchange membrane fuel cell by catalyst coating membrane method. *Journal of Power Sources*, 288, 121–127.
- Narayanan, H., & Basu, S. (2017). Regeneration of CO poisoned Pt black anode catalyst in PEMFC using break-in procedure and KMnO₄ solution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(37), 23814–23820.
- Okonkwo, P. C., Ige, O. O., Barhoumi, E. M., Uzoma, P. C., Emori, W., Benamor, A., & Abdullah, A. M. (2021). Platinum degradation mechanisms in proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(29), 15850–15865. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.02.078>
- Ong, B. C., Kamarudin, S. K., Masdar, M. S., & Hasran, U. A. (2017). Applications of graphene nano-sheets as anode diffusion layers in passive direct methanol fuel cells (DMFC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 1(1), 9252–9261.
- Pajkossy, T., & Jurczakowski, R. (2017). Electrochemical impedance spectroscopy in interfacial studies. *Current Opinion in Electrochemistry*, 1(1), 53–58.
- Patah, A., Rachmawati, Y., Utari, R., & Rochliadi, A. (2020). Penentuan Resistivitas Tak-Terkompensasi Cairan Ion Berbasis Imidazol dengan Metode EIS: Pengaruh Panjang Alkil dan Perbedaan Anion. *Jurnal Riset Kimia*, 11(2),

106–112.

- Perez, N. (2016). Electrochemistry Science and Corrosion. In *Springer International Publishing AG*.
- Randviir, E. P., & Banks, C. E. (2013). *Electrochemical Impedance Spectroscopy - an overview / ScienceDirect Topics* (Issue 5).
- Riyanto. (2013). .Yogyakarta: Graha Ilmu. In *Elektrokimia dan aplikasi* (Vol. 1, Issue 1).
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., & Shyuan, L. K. (2015). Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, *40*(34), 10960–10968.
- Rohendi, Dedi, Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Wan Daud, W. R., Hassan Kadhum, A. A., & Shyuan, L. K. (2013). Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, *38*(22), 9431–9437.
- Rui, Y. F., Liu, J. Q., Yang, B., Li, K. Y., & Yang, C. S. (2012). Parylene-based implantable platinum-black coated wire microelectrode for orbicularis oculi muscle electrical stimulation. *Biomedical Microdevices*, *14*(2), 367–373.
- Ruiz-Camacho, B., Baltazar Vera, J. C., Medina-Ramírez, A., Fuentes-Ramírez, R., & Carreño-Aguilera, G. (2017). EIS analysis of oxygen reduction reaction of Pt supported on different substrates. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(51), 30364–30373.
- Safitri, I. A., Rudiyanto, B., Nursalim, A., & Hariono, B. (2016). Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, *16*(1).
- Saha, M. S., Paul, D. K., Peppley, B. A., & Karan, K. (2010). Fabrication of catalyst-coated membrane by modified decal transfer technique. *Electrochemistry Communications*, *12*(3), 410–413.
- Samad, S., Loh, K. S., Wong, W. Y., Lee, T. K., Sunarso, J., Chong, S. T., & Wan Daud, W. R. (2018). Carbon and non-carbon support materials for platinum-based catalysts in fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*(16), 7823–7854.
- Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. (2017). Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *Teknoin*, *23*(1), 56–62.
- Shen, J., Xu, L., Chang, H., Tu, Z., & Chan, S. H. (2020). Partial flooding and its effect on the performance of a proton exchange membrane fuel cell. *Energy*

Conversion and Management, 207.

- Sun, L., Ran, R., & 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.
- Vietanti, F. (2020). *J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin Ternari Berbasis Palladium pada Matriks N-rGO sebagai Peningkatan Aktivitas ORR dalam Media Alkalin Palladium-Based Ternary Supported on N-rGO for Highly Activity ORR in Alkaline Media*. 4(2), 1–5.
- Yasuda, K., Taniguchi, A., Akita, T., Ioroi, T., & Siroma, Z. (2006). Characteristics of a Platinum Black Catalyst Layer with Regard to Platinum Dissolution Phenomena in a Membrane Electrode Assembly. *Journal of The Electrochemical Society*, 153(8), A1599.
- Ye, Licheng., Yuan, G., Siyao, Z., Junsheng, Z., Ping, L and Jim, P.Z. 2017. A Pt Content and Pore Structure Gradient Distributed Catalyst Layer to Improve the PEMFC Performance. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 7241–45.
- Yuan, X., & Wang, H. (2013). *PEM Fuel Cell Fundamentals*. 1–87.