

**UJI KINERJA DAN KETAHANAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Ru/C DAN Pt/C PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL* (DMFC) *MULTISTACK***

**SKRIPSI**

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



**Oleh :**

**SUTEJA**

**08031281823086**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2022**

## **HALAMAN PENGESAHAN**

### **UJI KINERJA DAN KETAHANAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Ru/C DAN Pt/C PADA DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC) MULTISTACK**

#### **SKRIPSI**

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

Oleh :

**SUTEJA**

**08031281823086**

Indralaya, 19 September 2022

**Mengetahui,**

**Pembimbing I**



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

NIP. 196704191993031001

**Pembimbing II**



**Dr. Eliza, M.Si**

NIP.196407291991022001

**Dekan FMIPA**



**Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D**

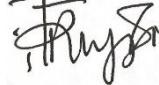
NIP. 197111191997021001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Multistack*”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 September 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 19 September 2022

Ketua :

1. **Fahma Riyanti, M.Si** (  )  
NIP. 197204082000032001

Sekretaris :

1. **Dr. Heni Yohandini, M.Si** (  )  
NIP. 197011152000122004

Pembimbing:

1. **Dr. Dedi Rohendi, M.T** (  )  
NIP. 196704191993031001  
2. **Dr. Eliza, M.Si** (  )  
NIP. 196407291991022001

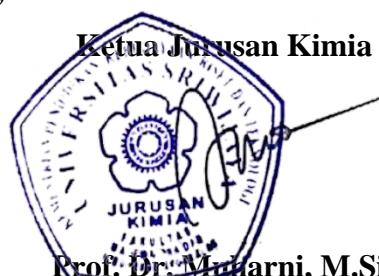
Penguji:

1. **Dr. Hasanudin, M.Si** (  )  
NIP. 197205151997021003  
2. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si** (  )  
NIP. 197211092000032001

Mengetahui,



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



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

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Suteja

NIM : 08031281823086

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.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 19 September 2022

Penulis



Suteja

NIM. 08031281823086

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

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

Nama Mahasiswa : Suteja  
NIM : 08031281823086  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya (hak bebas royalty non-ekslusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) *Multistack*”. Dengan hak bebas royalty non-ekslusif 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, 19 September 2022  
Yang menyatakan,



Suteja  
NIM. 08031281823086

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

*“Allah Akan Meninggikan Orang – Orang Yang Beriman Dari Kamu Sekalian  
Dan Orang – Orang Yang Berilmu Beberapa Derajat”  
(QS. Al Mujadalah 58:11)*

*“Siapa Yang Menempuh Jalan Untuk Mencari Ilmu, Maka Allah Akan Mudahkan  
Baginya Jalan Menuju Surga”  
(HR Muslim)*

*“Tidak Ada Yang Tidak Bisa Jika Kamu Berusaha”  
“Sabar, Tenang, Kuasai”*

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada :

- ✓ Allah SWT
- ✓ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada :

1. Untuk kedua orang tua dan saudara/iku
2. Pembimbing dan Sahabat-sahabatku
3. Almamaterku

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas ridho dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) *Multistack*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia. Penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan, serta doa dari banyak pihak yang terlibat terutama Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T serta ibu Dr. Eliza, M.Si yang telah memberikan banyak kebaikan dan kemudahan kepada penulis selama ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas segala rahmat serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu Prof. Dr. Muhamarni, M.Si selaku ketua jurusan Kimia dan bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku sekretaris jurusan Kimia.
4. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si selaku dosen penguji sidang sarjana dan Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si selaku dosen pembahas seminar hasil.
5. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing selama masa kuliah.
6. Kak Iin dan mbak Novi selaku admin jurusan kimia yang telah membantu proses administrasi serta semua dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis mengemban dunia perkuliahan.
7. Ayah, Ibu, dan Adikku yang telah memberikan *support*, semangat, mendoakan serta selalu ada disisi penulis dari awal penulis memulai sampai penulis menyelesaikan bangku perkuliahan.
8. Keluarga besar Syarkowi, saudaraku, keponakanku, tante dan oom. Terima kasih banyak atas dukungan dan doa yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih telah peduli serta ikut andil dalam setiap perjalanan penulis berkuliah.

9. Nyimas Fadillah Syafutri, +1 semangat penulis yang selalu memberikan semangat selama proses penulisan skripsi, selalu mengingatkan penulis dikala mager serta membawa senyum dan tawa di setiap momen – momen yang telah dilewati. *You are a special person for me.* Sukses selalu anak baik dan pinter, inget selalu pesan spesial dari penulis yaa.
10. My partner Muhammad Iqbal Maulana, yang telah banyak membantu serta bersama penulis selama perkuliahan terutama ketika menjadi partner di Himaki serta partner dalam segala kondisi, partner nobar, nonton, futsal, datang agenda dan lain – lain. *See you on top* bal.
11. Dunio Galo, Bang apres yang sedari awal mengajarkan banyak hal mulai dari perkuliahan dan organisasi, Agus dan Mahdi partner kelas C dan genap yang selalu saling support satu sama lain, Iqbal si paling stay saat kondisi urgent, Agung si panikan serta paling ngajak main biliar dan bowling, Rafly si paling ngeluh tapi tetap dilakukan dan juga makasih kosan nya yang selalu siap menampung penulis, Jepri si paling sadboy padahal banyak cewek – cewek yang dekat, cepetlah tobat yoo, Anas yang kalau diajak ngomong kadang bisa serius dan kadang becando terus, Adi (wijji) si paling rapat dan organisasi serta mageran minimal mandi lah yeh. Terima kasih banyak semoga kita bisa kumpul bareng lagi.
12. Devi, Sahabatku yang senantiasa selalu siap membantu ketika dibutuhkan dalam hal apapun. Terima kasih banyak atas segala bantuannya semoga kedepannya dimudahkan segala urusannya. Cepet- cepet kerja yee trus cari calon suami haha dan jangan lupa undang aku.
13. Derry, adek asuh ter the best yang selalu siap membantu penulis dikala butuh bantuan. Semangat der di FK nya. Shinta, Adel, Icak, Erida yang selalu buat penulis tersenyum atas tingkah laku mereka. Elsa, Feni, Maisya, dan zizah yang ikut support dan membantu penulis. Terima kasih atas kebaikan kalian, Semangat terus kuliahnya lancar luncur yaa.
14. Delapan Naga, Prima, Eko, Ilyas, Sandi, Mandor, Tiur sungki, Ibal Prof. Terima kasih kepada kalian yang sedari maba bersama penulis sampai ke tahap ini. Semoga visi misi terbentuknya nama 8 naga ini tercapai di masa depan kelak aamiin yarobbal alamin.

15. Kak Dwi, mentor penulis yang begitu sabar dan sangat baik, makasih banyak kak atas ilmu yang telah diberikan, maaf kalau penulis kadang lemot dalam memahami, Kak Reka dan Kak Icha terima kasih banyak kak atas saran, masukan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis. Sukses selalu kak untuk kedepannya.
16. Teman-teman di PUR yang telah membantu dan membersamai penulis disaat ngelab, Tim PUR kloter 2 (Prima, Eko, Nikea, Dinda, Ade, Anin, Devi, Ghifar, Nadia, Iren Martha), serta Tim PUR kloter 1 (Ilyas, Ade Dwi, Marya). Terima kasih atas kebaikannya.
17. BPH Kabinet Konstelasi Cita, terima kasih telah banyak membantu penulis terutama dalam kepengurusan HIMAKI. Semoga selalu dilancarkan kedepannya
18. Teman – teman Angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, senang bisa bertemu orang baik seperti kalian. Terima kasih atas semua kenangan yang telah kita buat Bersama.
19. Kakak- kakak Angkatan 2015,2016, dan 2017, terima kasih untuk ilmu yang telah diajarkan kepada penulis.
20. Adik- adik Angkatan 2019, 2020 dan 2021, penulis bersyukur dapat mengenal dan berbagi ilmu kepada kalian. Tetap semangat di Kimia.
21. Terakhir untuk diriku Suteja. Ketika kamu membuka kembali skripsi ini. Kamu pasti bangga akan pencapaianmu yang telah hebat bisa sampai di titik ini. Kamu hebat, Kamu kuat, dan Kamu harus yakin apapun yang kamu lakukan dengan niat yang baik akan mendapatkan hasil yang baik juga.

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis ini serta jauh dari kata sempura, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis ucapan terima kasih, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi kepada orang-orang yang membutuhkan

Palembang, 19 September 2022

Penulis

**SUMMARY**

**PERFORMANCE AND DURABILITY TEST ON THE MEMBRANE  
ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) USING CATALYST Pt-Ru/C AND Pt/C  
FOR DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC) MULTISTACK**

Suteja, supervised by Dr. Dedi Rohendi M.T and Dr. Eliza M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xv + 44 Pages, 8 Pictures, 7 Attachments

The research then was about performance and durability tests on the Membrane Electrode Assembly (MEA) using the catalyst of Pt-Ru/C and Pt/C for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Multistack. Membrane Electrode Asssembly (MEA) was made by combining Pt-Ru/C and Pt/C with nafion membrane 117. MEA were characterized using Cyclic Voltammetry (CV) to determine the site active catalytic and the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to determine the electrical conductivity value. Based on the characterization results, the ECSA value was  $1.48 \text{ cm}^2/\text{g}$  and the electrical conductivity value was  $7.48 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ . Performance test showing optimum Open Circuit Voltage (OCV) on metanol with 10% concentration as 3.2 V. Best performance test of DMFC multistack at methanol with 20 % concentration showed the current density value was  $0.63 \text{ mA/cm}^2$  and the optimum power density value was  $1 \text{ mW/cm}^2$ . Endurance test on MEA for 6 hours showed that the initial voltage of 2.77 V dropped to 2.245 V with a difference of 0.525 V.

Keywords : Pt-Ru/C, *Membrane Electrode Assembly (MEA)*, *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)*, *Multistack*

Citations : 42 (2010 – 2022)

## RINGKASAN

### **UJI KINERJA DAN KETAHANAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)* DENGAN KATALIS Pt-Ru/C DAN Pt/C PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC) MULTISTACK***

Suteja, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi M.T dan Dr. Eliza M.Si  
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xv + 44 Halaman, 8 Gambar, 7 Lampiran

Telah dilakukan penelitian mengenai uji kinerja dan ketahanan *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Multistack*. MEA dibuat dengan menggabungkan elektroda Pt-Ru/C dan Pt/C menggunakan membran nafion 117. MEA dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry (CV)* untuk mengetahui jumlah situs aktif katalitik pada MEA dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)* untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik pada MEA. Hasil karakterisasi didapatkan nilai ECSA sebesar  $1,48 \text{ cm}^2/\text{g}$  dan nilai konduktivitas elektrik sebesar  $7,48 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ . Hasil uji kinerja MEA didapatkan nilai *Open Circuit Voltage (OCV)* tertinggi pada metanol konsentrasi 10% sebesar 3,2 V. Uji kinerja terbaik DMFC *multistack* pada konsentrasi metanol 20% dihasilkan arus sebesar  $0,63 \text{ mA/cm}^2$  dan densitas daya sebesar  $1 \text{ mW/cm}^2$ . Uji ketahanan pada MEA selama 6 jam menunjukkan tegangan awal sebesar 2,77 V yang mengalami penurunan sebesar 2,245 V sehingga memiliki selisih tegangan sebesar 0,525 V.

Kata Kunci : Pt-Ru/C, *Membrane Electrode Assembly (MEA)*, *Direct Metanol Fuel Cell (DMFC)*, *Multistack*

Sitasi : 42 (2010 – 2022)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Fuel Cell</i> .....	4
2.2 Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i> .....	4
2.3 <i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i> .....	5
2.4 Komponen Penyusun DMFC .....	7
2.4.1 Plat Bipolar.....	7
2.4.2 <i>End Plate</i> .....	7
2.4.3 <i>Current Collector</i> .....	7
2.4.4 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i> .....	8
2.4.3.1 Membran Nafion .....	8
2.5 Katalis Pt-Ru/C dan Pt/C.....	9
2.6 Karakterisasi Elektroda .....	10
2.6.1 Pengukuran konduktivitas elektrik dengan metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	10

2.6.2 Penentuan sifat elektrokimia dengan metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) .....	10
2.7 Metode <i>Spraying</i> .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>12</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	12
3.2 Alat dan Bahan .....	12
3.2.1 Alat .....	12
3.2.2 Bahan.....	12
3.3 Prosedur Penelitian .....	12
3.3.1 Pembuatan GDL.....	12
3.3.2 Pembuatan Elektroda Pt-Ru/C dan Pt/C dengan Metode <i>Spraying</i> .....	13
3.3.3 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	14
3.3.4 Karakterisasi MEA Pt/C dan Pt-Ru/C .....	14
3.3.5 Pengujian MEA .....	15
3.3.6 Analis Data .....	15
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>18</b>
4.1 Karakterisasi MEA dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	18
4.2 Karakterisasi MEA menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	19
4.3 Uji Kinerja MEA.....	21
4.3.1 Pengujian Kinerja Terhadap Beban Pada Metanol yang Bervariasi.....	21
4.3.1.1. Analisis <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA) berdasarkan pengujian I-V <i>Performance</i> .....	21
4.3.1.2. Analisis <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA) berdasarkan pengujian I-P <i>Performance</i> .....	23
4.3.2 Pengujian Daya Tahan Sel <i>MultiStack</i> dengan menggunakan variasi waktu.....	24
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>26</b>
5.1. Kesimpulan .....	26
5.2 Saran.....	26
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>27</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>31</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Prinsip Kerja dari <i>Fuel Cell</i> .....	5
<b>Gambar 2.</b> Diagram Skema <i>Direct Methanol Fuel Cell</i> (DMFC) .....	6
<b>Gambar 3.</b> MEA Untuk DMFC .....	8
<b>Gambar 4.</b> Kurva Voltammogram MEA .....	18
<b>Gambar 5.</b> Kurva Nyquist MEA Pt/C dan Pt-Ru/C .....	20
<b>Gambar 6.</b> Kurva Polarisasi Berdasarkan Analisis I-V <i>Performance</i> Dengan konsentrasi metanol bervariasi .....	22
<b>Gambar 7.</b> Kurva Polarisasi Berdasarkan Analisis I-P <i>Performance</i> Dengan konsentrasi metanol bervariasi .....	23
<b>Gambar 8.</b> Kurva Pengaruh waktu kinerja terhadap MEA.....	24

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Skema Kerja.....	27
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan Komponen Elektroda.....	29
<b>Lampiran 3.</b> Perhitungan Nilai ECSA <i>Membrane Electrode Assembly</i> .....	31
<b>Lampiran 4.</b> Karakterisasi EIS dan Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik...	33
<b>Lampiran 5.</b> Data Hasil Uji Kinerja MEA .....	40
<b>Lampiran 6.</b> Data Uji Daya Tahan Pada MEA.....	41
<b>Lampiran 7.</b> Gambar Alat Penelitian.....	43

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Konsumsi bahan bakar fosil masih mendominasi kebutuhan bahan bakar dunia saat ini. Badan Energi Internasional melaporkan bahwa minyak bumi tetap memiliki pangsa konsumsi terbesar yaitu sebesar 40,8%, kemudian diikuti oleh gas alam (15,5%) dan batubara (10,1%). Ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil mungkin memiliki dampak serius pada lingkungan dimana emisi karbon yang dilepaskan oleh bahan bakar fosil menjadi penyebab utama pemanasan global, menipisnya lapisan ozon serta terjadinya emisi gas rumah kaca (Bimanatya and Widodo, 2018).

Penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus menyebabkan semakin menipisnya cadangan energi di masa depan. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan cara menemukan sumber energi baru terbarukan. Oleh karena itu, energi baru terbarukan (EBT) menjadi topik yang paling banyak diteliti sekarang (Korkmaz and Kariper, 2021). Salah satu penghasil energi yang paling menjanjikan saat ini yaitu *fuel cell* dengan mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah hidrogen. Beberapa keunggulan dari *fuel cell* yaitu efisiensi tinggi, polusi rendah, dan ramah terhadap lingkungan (Hemmat Esfe and Afrand, 2020).

*Fuel cell* terbagi menjadi beberapa jenis seperti, *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) berbahan bakar metanol dan yang berbahan bakar hidrogen disebut *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) (Shrivastava et al., 2016). Salah satu jenis *Fuel cell* yang dikembangkan saat ini yaitu *Direct Metanol Fuel Cell* (DMFC) di mana energi dari reaksi antara bahan bakar metanol dan udara diubah secara langsung dan terus menerus menjadi energi listrik (Abdullah et al., 2019).

DMFC disusun oleh beberapa komponen yaitu plat bipolar, plat penutup (*end plate*), *current collector*, elektroda dan *Membrane Electrode Assembly* (MEA). Dalam DMFC, anoda dan katoda adalah bagian utama dari reaksi elektrokimia untuk menghasilkan listrik. Bahan bakar metanol dioksidasi oleh katalis anoda dengan adanya air untuk membentuk produk proton, elektron, dan karbon dioksida

(Madaswamy et al., 2021). DMFC digunakan sebagai sel bahan bakar untuk aplikasi portabel karena metanol memiliki kepadatan energi yang tinggi, efisiensi yang lebih besar, dan ramah lingkungan.

Jenis DMFC terbagi menjadi dua antara lain DMFC *single stack* dan *multistack*. DMFC *single stack* terdiri dari satu tumpukan MEA sedangkan DMFC *multistack* terdiri dari beberapa tumpukan MEA. DMFC *multistack* memberikan banyak keuntungan yang bisa mendorong teknologi *fuel cell* kedepannya. DMFC *multistack* menawarkan efisiensi pada rentang daya yang lebih besar dibandingkan *fuel cell single stack* (Duan et al., 2022). Selain jenis *stack*, komponen lain yang berperan penting dalam *fuel cell* yaitu *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA merupakan gabungan dari anoda dan katoda dimana terdiri dari elektroda yang mengapit membran nafion (Shironita et al., 2013). Terdapat tiga proses penting yang terjadi dalam MEA yaitu transpor proton dari membran ke katalis, transpor elektron dari kolektor arus ke katalis dan sebaliknya, dan pengangkutan reaktan gas serta produk dari *catalyst layer* (CL) dan saluran gas (Rohendi et al., 2013).

Di antara berbagai katalis yang digunakan untuk DMFC, katalis Pt-Ru/C umumnya digunakan karena kemampuannya untuk menghilangkan CO yang terjadi karena zat antara reaksi yang terbentuk selama elektro-oksidasi metanol (Z. B. Wang et al., 2013). Katalis pada anoda dari DMFC biasanya logam biner platinum/ruthenium (Pt-Ru) dan katalis pada katoda adalah platina (Pt). Ruthenium (Ru) diperkenalkan untuk mendukung desorpsi CO pada permukaan Pt untuk oksidasi metanol (Yousefi and Zohoor, 2014). Katalis ini termasuk katalis yang paling efektif untuk elektro-oksidasi metanol di dalam DMFC. Anoda Pt-Ru/C juga telah diuji kinerjanya dan ditemukan bahwa DMFC dengan anoda Pt-Ru menunjukkan kinerja yang lebih tinggi (Nishanth et al., 2012).

Nugraha (2019) telah melakukan penelitian uji kinerja MEA dengan katalis Pt-Co/C pada DMFC *multistack* menunjukkan nilai OCV tertinggi yang didapat sebesar 0,6 V. Afrizal (2022) melakukan penelitian tentang Uji kinerja dan ketahanan Membrane electrode Assembly (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada multistek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) didapatkan nilai ECSA sebesar  $1,001 \text{ cm}^2/\text{g}$  dan konduktivitas listrik sebesar  $1,5439 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ . Penelitian

ini dilakukan pembuatan elektroda, penentuan aktivitas katalitik dan konduktivitas MEA serta pengujian kinerja MEA pada DMFC *multistack* dengan pengaruh konsentrasi metanol bervariasi menggunakan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C. Karakterisasi MEA meliputi penentuan luas permukaan aktif katalis pada elektroda menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV), penentuan nilai konduktivitas elektrik menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana aktivitas katalitik dan konduktivitas MEA dengan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada DMFC *multistack* menggunakan metode CV dan EIS.
2. Bagaimana kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada DMFC *multistack* dengan pengaruh konsentrasi metanol.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan aktivitas katalitik dan konduktivitas MEA dengan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada DMFC *multistack* menggunakan metode CV dan EIS
2. Menguji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada DMFC *multistack* dengan konsentrasi metanol bervariasi serta menguji ketahanan MEA pada arus tertentu.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menentukan aktivitas katalitik dan konduktivitas MEA pada DMFC *multistack* menggunakan metode CV dan EIS serta uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Ru/C dan Pt/C pada DMFC *multistack* dengan konsentrasi metanol bervariasi serta menguji ketahanan MEA pada arus tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, E. 2022. Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis Pt-Co/C Pada Multi Stek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). Skripsi. Universitas Sriwijaya.
- Anjeli, N. 2022. Pengaruh Suhu Humidifier dan Laju Alir Gas Terhadap Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Pt/C dan Pt-Ru/C pada PEMFC Stack Tunggal. Skripsi. Universitas Sriwijaya.
- Abdullah, N., Kamarudin, S. K., Shyuan, L. K., & Karim, N. A. (2019). Synthesis and optimization of PtRu/TiO<sub>2</sub>-CNF anodic catalyst for direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(58), 30543–30552.
- Akbari, E., Buntat, Z., Nikoukar, A., Kheirandish, A., Khaledian, M., & Afrozeh, A. (2016). Sensor application in Direct Methanol Fuel Cells (DMFCs). In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60, pp. 1125–1139). Elsevier Ltd.
- Almehmadi, S. J., Alharbi, A., Abualnaja, M. M., Alkhamis, K., Alhasani, M., Abdel-Hafez, S. H., Zaky, R., & El-Metwaly, N. M. (2022). Solvent free synthesis, characterization, DFT, cyclic voltammetry and biological assay of Cu(II), Hg(II) and UO<sub>2</sub>(II) – Schiff base complexes. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 103586.
- Arzaee, N. A., Mohamad Noh, M. F., Halim, A. A., Faizal Abdul Rahim, M. A., Haziqah Mohd Ita, N. S., Mohamed, N. A., Farhana Mohd Nasir, S. N., Ismail, A. F., & Mat Teridi, M. A. (2021). arzae. *Journal of Alloys and Compo Unds*, 852.
- Asghari, S., Shahsamandi, M. H., & Ashraf Khorasani, M. R. (2010). Design and manufacturing of end plates of a 5 kW PEM fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(17), 9291–9297.
- Bandarenka, A. S. (2013). Exploring the interfaces between metal electrodes and aqueous electrolytes with electrochemical impedance spectroscopy. *Analyst*, 138(19), 5540–5554.
- Bimanaty, T. E., & Widodo, T. (2018). Fossil fuels consumption, carbon emissions, and economic growth in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 90–97.
- Connor, P., Schuch, J., Kaiser, B., & Jaegermann, W. (2020). The Determination of Electrochemical Active Surface Area and Specific Capacity Revisited for the System MnO<sub>x</sub> as an Oxygen Evolution Catalyst. *Zeitschrift Fur Physikalische Chemie*, 234(5), 979–994.
- Dhuhita, Anindyati, and Dewi Kusuma Arti. 2010. Karakterisasi dan Uji Kinerja Speek, Csmm dan Nafion untuk Aplikasi *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC). Skripsi. Universitas Dipenogoro Semarang.
- Duan, H., Zhang, C., Wang, G., Chen, Y., Liu, Z., Xie, X., & Shuai, Q. (2022).

- Experimental study of the dynamic and transient characteristics of sub-health fuel cell multi-stack systems without DC/DC. *Energy*, 238.
- He, P., Sun, C., & Wang, Y. (2021). Material distortion in laser-based additive manufacturing of fuel cell component: Three-dimensional numerical analysis. *Additive Manufacturing*, 46.
- Hemmat Esfe, M., & Afrand, M. (2020). A review on fuel cell types and the application of nanofluid in their cooling. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(4), 1633–1654.
- Huang, X., Zhang, Z., Member, S., Jiang, J., & Member, S. 2014. Fuel Cell Technology for Distributed Generation : An Overview. *IEEE ISIE*, 1(1): 1613–1618.
- Kashyap, D., Dwivedi, P. K., Pandey, J. K., Kim, Y. H., Kim, G. M., Sharma, A., & Goel, S. (2014). Application of electrochemical impedance spectroscopy in bio-fuel cell characterization: A review. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 39, Issue 35, pp. 20159–20170). Elsevier Ltd.
- Kocha, S. S. (2015) *Electrochemical Degradation : Electrocatalyst and Support Durability, Polymer Electrolyte Fuel Cell Degradation*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-386936-4.10003-X.
- Korkmaz, S., & Kariper, A. (2021). Pyroelectric nanogenerators (PyNGs) in converting thermal energy into electrical energy: Fundamentals and current status. In *Nano Energy* (Vol. 84). Elsevier Ltd.
- Li, G., Huang, Y., & Lin, Y. (2013). Stability analysis of running-in system based on Nyquist curve of friction vibration. *Tribology International*, 60, 209–215.
- Liu, P., Yang, D., Chen, H., Gao, Y., & Li, H. (2013). Discrete and dispersible hollow carbon spheres for PtRuelectrocatalyst support in DMFCs. *Electrochimica Acta*, 109, 238–244.
- Li, Nan, Wei-yan Xia, Chang-wei Xu, and Shuang Chen. 2016. Pt / C and Pd / C Catalysts Promoted by Au for Glycerol and CO Electrooxidation in Alkaline Medium. *Journal of the Energy Institute* (July): 1–9.
- Madaswamy, S. L., Alothman, A. A., AL-Anazy, M. mana, Ifseisi, A. A., Alqahtani, K. N., Natarajan, S. K., Angaiah, S., & Ragupathy, D. (2021). Polyaniline-based nanocomposites for direct methanol fuel cells (DMFCs) - A Recent Review. In *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (Vol. 97, pp. 79–94). Korean Society of Industrial Engineering Chemistry.
- Maulana, M. I., Syahbanu, I., and Harlia. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jkk*, 6(3):11–18.
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2012). Comparative study of different fuel cell technologies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 1, pp. 981–989). Elsevier Ltd.
- Moura, A. S., Fajín, J. L. C., Mandado, M., & Cordeiro, M. N. D. S. (2017). Ruthenium-platinum catalysts and direct methanol fuel cells (DMFC): A

- review of theoretical and experimental breakthroughs. In *Catalysts* (Vol. 7, Issue 2). MDPI.
- Mousa, G., Golnaraghi, F., Devaal, J., & Young, A. (2014). Detecting proton exchange membrane fuel cell hydrogen leak using electrochemical impedance spectroscopy method. *Journal of Power Sources*, 246, 110–116.
- Nishanth, K. G., Sridhar, P., Pitchumani, S., & Shukla, A. K. (2012). Durable transition-metal-carbide-supported Pt-Ru anodes for direct methanol fuel cells. *Fuel Cells*, 12(1), 146–152.
- Ogungbemi, E., Ijaodola, O., Khatib, F. N., Wilberforce, T., El Hassan, Z., Thompson, J., Ramadan, M., & Olabi, A. G. (2019). Fuel cell membranes – Pros and cons. *Energy*, 172, 155–172.
- P.S., J., & Sutrave, D. S. (2018). A Brief Study of Cyclic Voltammetry and Electrochemical Analysis. *International Journal of ChemTech Research*, 11(9), 77–88.
- Park, Y. C., Kakinuma, K., Uchida, M., Uchida, H., & Watanabe, M. (2014). Deleterious effects of interim cyclic voltammetry on Pt/carbon black catalyst degradation during start-up/shutdown cycling evaluation. *Electrochimica Acta*, 123, 84–92.
- Prass, S., St-Pierre, J., Klingele, & M., Friedrich, K. A., & Zamel, & N. (n.d.). *Hydrogen Oxidation Artifact During Platinum Oxide Reduction in Cyclic Voltammetry Analysis of Low-Loaded PEMFC Electrodes*.
- 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.
- Sathish, A. (2018). Performance evaluation of nickel as anode catalyst for DMFC in acidic and alkaline medium. In *JOURNAL OF FUEL CHEMISTRY AND TECHNOLOGY* (Vol. 46, Issue 5).
- Sharaf, S. M. (2020). Smart conductive textile. In *Advances in Functional and Protective Textiles*. LTD.
- Sharma, R., Gyergyek, S., & Andersen, S. M. (2022). Critical thinking on baseline corrections for electrochemical surface area (ECSA) determination of Pt/C through H-adsorption/H-desorption regions of a cyclic voltammogram. *Applied Catalysis B: Environmental*, 311(March), 121351.
- Shironita, S., Karasuda, K., Sato, K., & Umeda, M. (2013). Methanol generation by CO<sub>2</sub> reduction at a Pt-Ru/C electrocatalyst using a membrane electrode

- assembly. *Journal of Power Sources*, 240, 404–410.
- Shirsath, A. V., Bonnet, C., Raël, S., & Lapicque, F. (2022). Analysis of gas transport phenomena in a polymer electrolyte fuel cell by electrochemical pressure impedance spectroscopy. *Journal of Power Sources*, 531(January).
- Shrivastava, N. K., Thombre, S. B., & Chadge, R. B. (2016). Liquid feed passive direct methanol fuel cell: challenges and recent advances. In *Ionics* (Vol. 22, Issue 1, pp. 1–23). Institute for Ionics.
- Sun, W., Zhang, W., Su, H., Leung, P., Xing, L., Xu, L., Yang, C., & Xu, Q. (2019). Improving cell performance and alleviating performance degradation by constructing a novel structure of membrane electrode assembly (MEA) of DMFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(60), 32231–32239. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.113>
- Wang, L., Yuan, Z., Wen, F., Cheng, Y., Zhang, Y., & Wang, G. (2018). A bipolar passive DMFC stack for portable applications. *Energy*, 144, 587–593.
- Wang, Z. B., Li, C. Z., Gu, D. M., & Yin, G. P. (2013). Carbon riveted PtRu/C catalyst from glucose in-situ carbonization through hydrothermal method for direct methanol fuel cell. *Journal of Power Sources*, 238, 283–289.
- Widiatmi, H. M., & Purwanto, W. W. 2013. Passive Direct Methanol Fuel Cell Sebagai Sumber Listrik Pada Charger Telepon Seluler. *Abstrak*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Weber, A. Z., Balasubramanian, S. and Das, P. K. 2012. *Proton Exchange Membrane Fuel Cells, Advances in Chemical Engineering*.
- Yousefi, S., & Zohoor, M. (2014). Conceptual design and statistical overview on the design of a passive DMFC single cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(11), 5972–5980.