

**UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)
MENGUNAKAN KATALIS Pt-Ru/C UNTUK *DIRECT METHANOL*
FUEL CELL (DMFC) PADA MEMBRAN ELEKTROLIT DAN
KONSENTRASI METANOL BERVARIASI**

SKRIPSI

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



Oleh:

MSY. YUNITA SARI

08031382025105

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)
MENGUNAKAN KATALIS Pt-Ru/C UNTUK *DIRECT METHANOL*
FUEL CELL (DMFC) PADA MEMBRAN ELEKTROLIT DAN
KONSENTRASI METANOL BERVARIASI**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Serjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

MSY. YUNITA SARI

08031382025105

Indralaya, 20 Mei 2024

**Mengetahui,
Dosen Pembimbing**



**Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.
NIP. 196704191993031001**

Dekan FMIPA



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Msy Yunita Sari (08031382025105) dengan judul "Uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan Katalis Pt-Ru/C untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) pada Membran Elektrolit dan Konsentrasi Metanol Bervariasi", telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Mei 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 20 Mei 2024

Ketua:

1. Dr. Nirwan Syarif, M.Si.

NIP. 197010011999031003

()

Sekretaris:

2. Dra. Julinar, M.Si.

NIP. 196507251993032002

()

Pembimbing:

1. Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.

NIP. 196704191993031001

()

Penguji:


1. Dr. Ady Mara, M.Si.

NIP. 196404301990031003

()

2. Dr. Widia Purwaningrum, M.Si.

NIP. 197304031999032001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA


Prof. 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 : Msy Yunita Sari

NIM : 08031382025105

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, 20 Mei 2024

Pe



Msy Yunita Sari

NIM. 08031382025105

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

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

Nama Mahasiswa : Msy Yunita Sari
NIM : 08031382025105
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 : “Uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan Katalis Pt-Ru/C untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) pada Membran Elektrolit dan Konsentrasi Metanol Bervariasi”. 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 20 Mei 2024

Yang menyatakan,



Msy Yunita Sari

NIM. 08031382025105

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 Menelusuri Jalan Untuk Mencari Ilmu Padanya, Maka Allah Akan
Memudahkan Baginya Jalan Menuju Surga”
(HR Muslim)

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 kehadiran Allah SWT atas ridho dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) menggunakan Katalis Pt-Ru/C untuk Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) pada Membran Elektrolit dan Konsentrasi Metanol Bervariasi” 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 Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D yang telah memberikan banyak bantuan, kebaikan dan kemudahan kepada penulis selama ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas segala rahmat dan karunia serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku ketua jurusan Kimia dan bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku sekretaris jurusan Kimia.
4. Bapak Dr. Ady Mara, M.Si dan Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M.Si selaku dosen penguji sidang sarjana.
5. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah berbagi ilmu, mendidik, dan membimbing selama masa kuliah penulis.
6. Kak Iin dan mbak Novi selaku admin jurusan Kimia yang telah membantu proses administrasi dari tahap seminar hingga tahap wisuda serta semua dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis mengemban dunia perkuliahan.
7. Orangtua, Kakak dan Adikku yang telah memberikan dukungan, semangat, mendoakan serta selalu berada disisi penulis dari awal penulis memulai sampai penulis menyelesaikan bangku perkuliahan.
8. Keluarga besarku tercinta, saudaraku, tante dan oom. Terima kasih banyak atas dukungan dan doa yang telah diberikan kepada penulis.
9. Sahabat tercintaku Anisah Kamilah yang telah kebersamai dan banyak membantu penulis dalam hal apapun selama perkuliahan.

10. Badmood Gengs (Anisah, Feni, Dila, Maisyah, Jijah dan Elsa) yang telah menemani, mendukung dan membantu penulis dari awal perkuliahan hingga penulisan skripsi penulis. Semangatt mengejar cita-cita kalian guys.
11. Kak Dwi, mentor penulis yang sangat sabar dan baik menghadapi penulis yang mungkin banyak kekurangan maupun kesalahan dalam hal penulisan skripsi, makasih banyak kak atas ilmu dan waktu yang telah diberikan, Kak Reka, Kak Icha dan Kak Yollan terima kasih banyak kak atas nasihat, saran, masukan dan motivasi maupun pelajaran hidup yang telah diberikan kepada penulis. Sukses dan bahagia selalu ya kak. Kebaikan kakak-kakak akan selalu mengalir pahalanya hingga ke orang lain.
12. Teman-teman di PUR yang telah membantu dan membersamai penulis disaat ngelab, (Hawati yang selalu ceria, hingga buat kami tertawa di tengah riwehnya ngelab, Syakira yang selalu rempong tapi care nya selangitt, Lamria si paling mudah merah pipinya saat tersipu malu yang selalu cerita dan beri saran dalam hal apapun, Eno si paling ngeselin tapi mudah dihasutt hehe tapi baik bangettt, Theresia partner DMFC yang sungkan ngerepotin orang tapi selalu peduli dan beri masukan ke penulis jika penulis terkendala, serta Putri dan Dina yang selalu kompak kalau soal outfit dan yang rempong dalam hal bersua foto. Terima kasih atas kebaikan dan kehadiran kalian dalam bagian hidup penulis.
13. Teman – teman Angkatan 2020 (Eva, Silvia, Erida, Riska, Yayang, Fita, Nandy, Alifhia, Icak, Siti) yang tidak dapat disebutkan satu persatu, senang bisa bertemu orang baik seperti kalian. Terima kasih atas semua kenangan yang telah kita buat Bersama.
14. Kakak- kakak Angkatan 2018 dan 2019 terima kasih untuk ilmu yang telah diajarkan kepada penulis. Adik- adik Angkatan 2021 dan 2022, penulis bersyukur dapat mengenal dan berbagi ilmu kepada kalian. Tetap semangat di Kimia.

Palembang, 20 Mei 2024

Penulis

SUMMARY

PERFORMANCE TEST OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) USING Pt-Ru/C CATALYST FOR DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC) ON ELECTROLYTE MEMBRANES AND VARIED METHANOL CONCENTRATIONS

Msy. Yunita Sari, supervised by Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xi + 85 pages, 6 figures, 3 tables, 11 appendices

Performance tests of Membrane Electrode Assembly (MEA) using Pt-Ru/C Catalyst for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) on Electrolyte Membranes and Varying Methanol Concentrations have been carried out. MEA was made by combining Pt-Ru electrodes on the anode side and Pt/C on the cathode side using Nafion 117 (N117) and Nafion 212 (N212) membranes. The N212 membrane is commonly used in PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), while the N117 membrane is commonly used in DMFC. MEA was characterized using the Cyclic Voltammetry (CV) method to determine the ECSA (Electrochemical Surface Area) value and the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method to determine the electrical conductivity value.

MEA characterization results obtained the highest ECSA value with a 5% methanol concentration on the N117 membrane of $1,945 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$, and the N212 membrane of $9,322 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{g}$, while the highest electrical conductivity value was with a 5% methanol concentration on the membrane. N117 and N212 membranes were $2,113 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ and $1,164 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ respectively. MEA performance test results obtained the highest Open Circuit Voltage (OCV) value with a methanol concentration of 5% on the N117 membrane and N212 membrane, respectively 0.37 V and 0.367 V. The best MEA performance test was with a methanol concentration of 5% on the N117 membrane and membrane. N212 obtained optimum power densities of 0.079 mW/cm^2 and 0.065 mW/cm^2 respectively.

Keywords : Pt-Ru/C, Membrane Electrode Assembly (MEA), Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), Performance Test, Methanol Concentration, N117 and N212 Membranes

Citation : 50 (2013-2023)

RINGKASAN

UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) MENGUNAKAN KATALIS Pt-Ru/C UNTUK *DIRECT METHANOL* *FUEL CELL* (DMFC) PADA MEMBRAN ELEKTROLIT DAN KONSENTRASI METANOL BERVARIASI

Msy. Yunita Sari, dibimbing oleh Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya

xi + 85 halaman, 6 gambar, 3 tabel, 11 lampiran

Uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan Katalis Pt-Ru/C untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) pada Membran Elektrolit dan Konsentrasi Metanol Bervariasi telah dilakukan. MEA dibuat dengan menggabungkan elektroda Pt-Ru pada sisi anoda dan Pt/C pada sisi katoda menggunakan membran Nafion 117 (N117) dan Nafion 212 (N212). Membran N212 biasa digunakan dalam PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), sementara membran N117 biasa digunakan dalam DMFC. MEA dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menentukan nilai ECSA (*Electrochemical Surface Area*) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menentukan nilai konduktivitas listrik.

Hasil karakterisasi MEA didapatkan nilai ECSA tertinggi dengan konsentrasi metanol 5% pada membran N117 sebesar $1,945 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$, dan membran N212 sebesar $9,322 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan nilai konduktivitas listrik tertinggi dengan konsentrasi metanol 5% pada membran N117 dan membran N212 masing-masing sebesar $2,113 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ dan $1,164 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Hasil uji kinerja MEA didapatkan nilai *Open Circuit Voltage* (OCV) tertinggi dengan konsentrasi metanol 5% pada membran N117 dan membran N212 masing-masing sebesar 0,37 V dan 0,367 V. Uji kinerja MEA terbaik dengan konsentrasi metanol 5% pada membran N117 dan membran N212 didapatkan densitas daya optimum masing-masing sebesar 0,079 mW/cm² dan 0,065 mW/cm².

Kata Kunci: Pt-Ru/C, *Membrane Electrode Assembly* (MEA), *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC), Uji Kinerja, Konsentrasi Metanol, Membran N117 dan N212

Sitasi : 50 (2013-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
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	6
2.4.1 Plat Bipolar	6
2.4.2 Gasket	6
2.4.3 <i>Current Collector</i>	6
2.4.4 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	7
2.4.5 <i>Endplate</i>	7
2.4.6 Membran Nafion	7

2.5	Katalis Pt-Ru/C dan Pt/C	8
2.6	Karakterisasi MEA	9
2.6.1	Pengukuran Konduktivitas Listrik dengan Metode EIS	9
2.6.2	Penentuan Sifat Elektrokimia dengan Metode CV	9
2.6.3	Kurva Polarisasi pada Uji Kinerja <i>Fuel Cell</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		12
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 <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL)	12
3.3.2	Pembuatan Elektroda Pt-Ru/C	13
3.3.3	Aktivasi Membran	13
3.3.4	Penentuan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	13
3.3.5	Karakterisasi MEA Pt-Ru/C	14
3.3.5.1	<i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	14
3.3.5.2	<i>Electrochemistry Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	14
3.3.6	Pengujian Kinerja MEA terhadap Membran yang Bervariasi	15
3.3.7	Analisis Data	15
3.3.7.1	Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	15
3.3.7.2	Analisis Nilai Konduktivitas Listrik	15
3.3.7.3	Analisis Kinerja MEA pada DMFC	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		17
4.1	Karakterisasi MEA menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV). 17	
4.2	Karakterisasi MEA menggunakan Metode <i>Electrochemistry Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	19
4.3	Pengujian Kinerja MEA terhadap Membran Bervariasi.....	21
4.4	Pengaruh Konsentrasi Metanol terhadap Kurva Polarisasi I-V pada Membran Bervariasi.....	22
4.5	Pengaruh Konsentrasi Metanol terhadap Kurva Polarisasi I-P pada Membran Bervariasi.....	23

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 Kesimpulan	26
5.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema DMFC.....	5
Gambar 2. Skema Kurva Polarisasi pada Uji Kinerja <i>Fuel Cell</i>	10
Gambar 3. Kurva Voltammogram MEA.....	17
Gambar 4. Kurva <i>Nyquist</i> MEA	19
Gambar 5. Kurva Polarisasi I-V MEA.....	23
Gambar 6. Kurva Polarisasi I-P MEA	24

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai ECSA pada MEA dengan Membran N117 dan N212	18
Tabel 2. Nilai Konduktivitas Listrik pada MEA Membran N117 dan N212	20
Tabel 3. Nilai OCV pada MEA dengan Membran N117 dan N212.....	21

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Pembuatan GDL (<i>Gas Diffusion Layer</i>)	34
Lampiran 2. Pembuatan Elektroda Pt-Ru/C.....	34
Lampiran 3. Pembuatan Elektroda Pt/C.....	35
Lampiran 4. Aktivasi Membran.....	35
Lampiran 5. Pembuatan dan Karakterisasi MEA	36
Lampiran 6. Perhitungan Pembuatan GDL	37
Lampiran 7. Perhitungan Pembuatan Elektroda.....	38
Lampiran 8. Perhitungan Nilai ECSA menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	39
Lampiran 9. Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	59
Lampiran 10. Data Hasil Uji Kinerja MEA dengan Membran N117 dan N212 menggunakan Konsentrasi Metanol Bervariasi	69
Lampiran 11. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	74

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas manusia yang semakin banyak dan beragam mengakibatkan terjadinya peningkatan penggunaan energi khususnya energi fosil yang semakin lama semakin menipis. Permasalahan ini mendorong para peneliti melakukan banyak penelitian dan pengembangan sumber energi alternatif yang efisien, terbarukan dan ramah lingkungan serta memiliki potensi yang bagus di masa mendatang. Salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi yang besar adalah teknologi sel bahan bakar atau *fuel cell* karena memiliki emisi yang rendah dan efisiensi yang tinggi (Ong *et al.*, 2017). *Fuel cell* adalah suatu perangkat elektrokimia yang mengkonversi energi kimia secara langsung dari bahan bakar (misalnya hidrogen, metanol, etanol, gas alam, hidrokarbon, dan lain-lain) dan oksidan (yaitu, udara atau oksigen murni) dengan bantuan katalis menjadi listrik, panas dan air (Kang *et al.*, 2018).

Fuel cell memiliki prinsip kerja menggunakan gas hidrogen yang disuplai ke anoda akan bereaksi dengan ion hidroksida dalam elektrolit untuk menghasilkan air dan elektron setelah menembus GDL dan mencapai lapisan katalis (CL) (Ferriday & Middleton, 2021). Keunggulan *fuel cell* dibandingkan dengan sumber energi lain diantaranya mempunyai efisiensi konversi energi yang lebih baik, kemampuan isi ulang yang ekonomis dan aman, tingkat polusi yang sangat rendah, bahan bakar yang beragam, tidak bising, bersifat modular sehingga aplikasi *fuel cell* cukup luas dalam kehidupan sehari-hari (Wilberforce *et al.*, 2016).

Fuel cell terdiri dari berbagai macam jenis, salah satunya yang saat ini mulai banyak digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC ini terdiri dari 3 macam yakni yang berbahan bakar hidrogen disebut *Hydrogen Fuel Cell*, berbahan bakar metanol disebut *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) dan yang berbahan bakar etanol disebut *Direct Ethanol Fuel Cell* (DEFC) (Wilberforce *et al.*, 2016). DMFC dikenal sebagai sel bahan bakar yang memiliki potensi yang besar untuk aplikasi portabel, karena jenis sel bahan bakar ini memiliki tingkat efisiensi energi yang tinggi, penyimpanan bahan bakar yang aman serta

emisi polutan yang sangat rendah. DMFC menggunakan metanol sebagai bahan bakar, karena metanol adalah sumber energi terbarukan (Long *et al.*, 2018). Komponen yang mempengaruhi kinerja pembentukan DMFC adalah *Membrane Elektrolit Assembly* (MEA). MEA tersusun dari lapisan pendukung, lapisan difusi dan lapisan katalis. Interaksi yang baik antar lapisan dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi katalis (Ong *et al.*, 2017).

Penelitian ini menggunakan logam berbasis Pt untuk katalis elektrooksidasi metanol karena stabilitas Pt yang sangat baik. Namun, beberapa intermediet seperti CO yang dapat teradsorpsi kuat pada permukaan Pt dan menyebabkan banyak situs aktif katalis Pt sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kelemahan ini dapat diatasi dengan penambahan Ruthenium (Ru) pada katalis Pt. Paduan Pt-Ru adalah katalis anodik yang paling efektif untuk reaksi oksidasi metanol dalam DMFC. Katalis Pt-Ru memiliki aktivitas elektrokatalitik yang tinggi, resistensi yang lebih tinggi terhadap CO, dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan katalis lain (Bandapati *et al.*, 2019).

DMFC biasanya menggunakan *perfluorosulfononic* membran tipe asam atau nafion. Nafion adalah elektrolit polimer yang memiliki konduktivitas proton yang tinggi, fleksibilitas dan stabilitas kimia serta berfungsi untuk menghantarkan proton (H^+) saat terjadinya reaksi redoks (Ercelik *et al.*, 2017). Penelitian ini menggunakan dua membran yaitu membran nafion 117 dan membran nafion 212 untuk mengetahui pengaruh kedua jenis membran terhadap kinerja DMFC. Membran N212 biasanya digunakan dalam PEMFC. Penelitian Sun (C. Y. Sun & Zhang, 2019) menggunakan kedua jenis membran yaitu membran N117 dan N212 dalam PEMFC, sehingga penelitian ini melengkapi penelitian tentang penggunaan kedua jenis membran. Penelitian yang dilakukan Afif (2023) menggunakan membran N117 dengan konsentrasi metanol (10, 15 dan 20%), sehingga penelitian ini dilakukan menggunakan konsentrasi metanol yang bervariasi (5, 10, 15, 20 dan 25%) untuk memperlihatkan pola linearitas kinerja DMFC yang terbaik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana konduktivitas listrik dan nilai ECSA *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Ru/C (anoda) dan Pt/C (katoda) pada DMFC menggunakan metode *Electrochemical Impedance*

Spectroscopy (EIS) dan *Cyclic Voltammetry* (CV)?

2. Bagaimana kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan katalis Pt-Ru/C (anoda) dan Pt/C (katoda) untuk DMFC pada membran N117 dan membran N212 dengan konsentrasi metanol bervariasi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan konduktivitas listrik dan nilai ECSA *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Ru/C (anoda) dan Pt/C (katoda) pada DMFC menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan *Cyclic Voltammetry* (CV).
2. Menguji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan katalis Pt-Ru/C (anoda) dan Pt/C (katoda) untuk DMFC pada membran N117 dan membran N212 dengan konsentrasi metanol bervariasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian diantaranya dapat menentukan konduktivitas dan nilai ECSA dari MEA dengan katalis Pt-Ru/C (anoda) dan Pt/C (katoda) pada DMFC menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan *Cyclic Voltammetry* (CV) serta dapat menguji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) untuk DMFC pada membran N117 dan membran N212.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Kamarudin, S. K., Shyuan, L. K., & Karim, N. A. (2019). Synthesis and optimization of PtRu/TiO₂-CNF anodic catalyst for direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(58), 30543–30552. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.042>
- Abraham, B. G., & Chetty, R. (2021). Design and fabrication of a quick-fit architecture air breathing direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(9), 6845–6856. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.184>
- Agarwal, H., Pandey, R., & Bhat, S. D. (2020). Improved polymer electrolyte fuel cell performance with membrane electrode assemblies using modified metallic plate: Comparative study on impact of various coatings. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(37), 18731–18742. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.243>
- Aibada, N., Ramachandran, M., Gupta, K. K., & Raichurkar, P. P. (2017). Review on Various Gaskets Based on the Materials, their Characteristics and Applications. *International Journal on Textile Engineering and Processes*, 3(1), 12–18.
- Alias, M. S., Kamarudin, S. K., Zainoodin, A. M., & Masdar, M. S. (2021). Structural mechanism investigation on methanol crossover and stability of a passive direct methanol fuel cell performance via modified micro-porous layer. *International Journal of Energy Research*, 45(9), 12928–12943. <https://doi.org/10.1002/er.6624>
- Almheiri, S., & Liu, H. (2015). Direct measurement of methanol crossover fluxes under land and channel in direct methanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 10969–10978. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.126>
- Aoki, K. J., Chen, J., Liu, Y., & Jia, B. (2020). Peak potential shift of fast cyclic voltammograms owing to capacitance of redox reactions. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 856. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.113609>
- Azmi, A. F. M., Kannan, V., Yasin, N. S., Rashid, J. I. A., Omar, A., & Salleh, E. M. (2020). S effect of time and temperature on reduced graphene oxide (Rgo) layer stability and cyclic voltammetric behaviour of modified screen-printed carbon electrode (mSPCE) for biosensing purposes. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(5), 800–809.
- Bandapati, M., Goel, S., & Krishnamurthy, B. (2019). Platinum utilization in proton exchange membrane fuel cell and direct methanol fuel cell. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, 9(4), 281–310. <https://doi.org/10.5599/jese.665>

- Boni, M., Rao, S. S., & Srinivasulu, G. N. (2021). Performance evaluation of the incorporation of different wire meshes in between perforated current collectors and membrane electrode assembly on the Passive Direct methanol fuel cell. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 32, 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.07.038>
- Boni, M., Srinivasa Rao, S., Naga Srinivasulu, G., & Narayana, C. V. (2019). Effect of Anode Gas Diffusion Layer Thickness and Porosity on the Performance of Passive Direct Methanol Fuel Cell. *Chemical Product and Process Modeling*, 1–22. <https://doi.org/10.1515/cppm-2019-0029>
- Choi, W., Shin, H. C., Kim, J. M., Choi, J. Y., & Yoon, W. S. (2020). Modeling and applications of electrochemical impedance spectroscopy (Eis) for lithium-ion batteries. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.33961/jecst.2019.00528>
- Colpan, C. O., Ouellette, D., Glösen, A., Müller, M., & Stolten, D. (2017). Reduction of methanol crossover in a flowing electrolyte-direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(33), 21530–21545. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.004>
- Cui, F. Z., Liu, Z., Ma, D. L., Liu, L., Huang, T., Zhang, P., Tan, D., Wang, F., Jiang, G. F., & Wu, Y. (2021). Polyarylimide and porphyrin based polymer microspheres for zinc ion hybrid capacitors. *Chemical Engineering Journal*, 405(June 2020), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127038>
- Elham, O. S. J., Kamarudin, S. K., Shaari, N., Zainoodin, A. M., Zakaria, Z., & Yusof, M. R. (2023). Development of Low-Cost Nafion-Lignin Composite Conductive Membranes for Application in Direct Methanol Fuel Cells. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 111514. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111514>
- Ercelik, M., Ozden, A., Devrim, Y., & Colpan, C. O. (2017). Investigation of Nafion based composite membranes on the performance of DMFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2658–2668. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.215>
- Feng, S., Yang, G., Zheng, D., Rauf, A., Khan, U., Cheng, R., Wang, L., Wang, W., & Liu, F. (2022). Completely eliminating the metal barrier cracks on Nafion for suppressing methanol crossover with anodic aluminum oxide substrates. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(42), 18496–18503. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.002>
- Ferriday, T. B., & Middleton, P. H. (2021). Alkaline fuel cell technology - A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(35), 18489–18510. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.02.203>
- Forootan Fard, H., Khodaverdi, M., Pourfayaz, F., & Ahmadi, M. H. (2020). Application of N-doped carbon nanotube-supported Pt-Ru as electrocatalyst

- layer in passive direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(46), 25307–25316. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.254>
- Gallo, M., Polverino, P., Mougín, J., Morel, B., & Pianese, C. (2020). Coupling electrochemical impedance spectroscopy and model-based aging estimation for solid oxide fuel cell stacks lifetime prediction. *Applied Energy*, 279(April), 115718. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115718>
- Ghasemi, M., Wan Daud, W. R., Ismail, M., Rahimnejad, M., Ismail, A. F., Leong, J. X., Miskan, M., & Ben Liew, K. (2013). Effect of pre-treatment and biofouling of proton exchange membrane on microbial fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(13), 5480–5484. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.09.148>
- Gong, L., Yang, Z., Li, K., Xing, W., Liu, C., & Ge, J. (2018). Recent development of methanol electrooxidation catalysts for direct methanol fuel cell. *Journal of Energy Chemistry*, 27(6), 1618–1628. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2018.01.029>
- Gu, K., Kim, E. J., Sharma, S. K., Sharma, P. R., Bliznakov, S., Hsiao, B. S., & Rafailovich, M. H. (2021). Mesoporous carbon aerogel with tunable porosity as the catalyst support for enhanced proton-exchange membrane fuel cell performance. *Materials Today Energy*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100560>
- Guan, L., Yu, W., Rehman Asghar, M., Zhang, W., Su, H., Li, C., Xing, L., & Xu, Q. (2024). Effect of graphene aerogel as a catalyst layer additive on performance of direct methanol fuel cell. *Fuel*, 360(PC), 130503. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130503>
- Junoh, H., Jaafar, J., Nik Abdul, N. A. H., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., Rahman, M. A., Aziz, F., Yusof, N., & Sayed Daud, S. N. S. (2021). Porous polyether sulfone for direct methanol fuel cell applications: Structural analysis. *International Journal of Energy Research*, 45(2), 2277–2291. <https://doi.org/10.1002/er.5921>
- Kamarudin, M. Z. F., Kamarudin, S. K., Masdar, M. S., & Daud, W. R. W. (2013). Review: Direct ethanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22), 9438–9453. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.07.059>
- Kang, S., Bae, G., Kim, S. K., Jung, D. H., Shul, Y. G., & Peck, D. H. (2018). Performance of a MEA using patterned membrane with a directly coated electrode by the bar-coating method in a direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(24), 11386–11396. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.086>
- Karimi, M. B., Mohammadi, F., & Hooshyari, K. (2019). Recent approaches to improve Nafion performance for fuel cell applications: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(54), 28919–28938.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.096>

- Kim, T., Choi, W., Shin, H. C., Choi, J. Y., Kim, J. M., Park, M. S., & Yoon, W. S. (2020). Applications of voltammetry in lithium ion battery research. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, *11*(1), 14–25. <https://doi.org/10.33961/jecst.2019.00619>
- Kumar, P., Dutta, K., Das, S., & Kundu, P. P. (2013). An overview of unsolved deficiencies of direct methanol fuel cell technology: factors and parameters affecting its widespread use. *International Journal of Energy Research*, *33*(4), 23–40. <https://doi.org/10.1002/er>
- Li, X., Ma, Y., Yue, Y., Li, G., Zhang, C., Cao, M., Xiong, Y., Zou, J., Zhou, Y., & Gao, Y. (2022). A flexible Zn-ion hybrid micro-supercapacitor based on MXene anode and V₂O₅ cathode with high capacitance. *Chemical Engineering Journal*, *428*(June 2021), 130965. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130965>
- Long, Z., Gong, L., Sun, Y., Li, Y., Xu, P., Zhang, X., Ge, J., Liu, C., Ma, S., & Jin, Z. (2018). In-situ precise electrocatalytic behaviors of Pt/C and PtRu/C for methanol oxidation of DMFCs via the designed micro-MEA. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*(27), 12413–12419. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.024>
- Masdar, M. S., Dedikarni, Zainoodin, A. M., Rosli, M. I., Kamarudin, S. K., & Daud, W. R. W. (2017). Performance and stability of single and 6-cell stack passive direct methanol fuel cell (DMFC) for long-term operation. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(14), 9230–9242. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.123>
- Meyer, Q., Zeng, Y., & Zhao, C. (2019). Electrochemical impedance spectroscopy of catalyst and carbon degradations in proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, *437*(July), 226922. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.226922>
- Möckl, M., Bernt, M., Schröter, J., & Jossen, A. (2019). Proton exchange membrane water electrolysis at high current densities: Investigation of thermal limitations. *International Journal of Hydrogen Energy*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.144>
- 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*, *42*(14), 9252–9261. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.094>
- Prapainainar, P., Pattanapisutkun, N., Prapainainar, C., & Kongkachuichay, P. (2019). Incorporating graphene oxide to improve the performance of Nafion-mordenite composite membranes for a direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 362–378.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.008>

- Sahin, O., & Kivrak, H. (2013). A comparative study of electrochemical methods on Pt-Ru DMFC anode catalysts: The effect of Ru addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(2), 901–909. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.066>
- Salah, B., Ipadeola, A. K., Abdullah, A. M., Ghanem, A., & Eid, K. (2023). Self-Standing Pd-Based Nanostructures for Electrocatalytic CO Oxidation: Do Nanocatalyst Shape and Electrolyte pH Matter? *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14). <https://doi.org/10.3390/ijms241411832>
- Shi, M., Lu, K., Hong, X., Qiang, H., Liu, C., Ding, Z., Wang, F., & Xia, M. (2023). High-yield green synthesis of N-doped hierarchical porous carbon by Nitrate-Mediated organic salt activation strategy for capacitive Deionization: Universality and commerciality. *Chemical Engineering Journal*, 471(April), 144465. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144465>
- Sudaroli, B. M., & Kolar, A. K. (2016). An experimental study on the effect of membrane thickness and PTFE (polytetrafluoroethylene) loading on methanol crossover in direct methanol fuel cell. *Energy*, 98, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.101>
- Sun, C. Y., & Zhang, H. (2019). Investigation of Nafion series membranes on the performance of iron-chromium redox flow battery. *International Journal of Energy Research*, 43(14), 8739–8752. <https://doi.org/10.1002/er.4875>
- 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>
- Thiam, H. S., Daud, W. R. W., Kamarudin, S. K., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Loh, K. S., & Majlan, E. H. (2013). Nafion/Pd-SiO₂ nanofiber composite membranes for direct methanol fuel cell applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22), 9474–9483. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.11.141>
- Wang, L., Yin, L., Yang, W., Cheng, Y., Wen, F., Liu, C., Dong, L., Wang, M., Ma, S., & Feng, X. (2021). Evaluation of structural aspects and operation environments on the performance of passive micro direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(2), 2594–2605. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.114>
- Wang, S. H., & Lin, H. L. (2014). Poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)/polybenzimidazole blend nanofiber supported Nafion membranes for direct methanol fuel cells. *Journal of Power Sources*, 257, 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.01.104>

- Wilberforce, T., Alaswad, A., Palumbo, A., Dassisti, M., & Olabi, A. G. (2016). Advances in stationary and portable fuel cell applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(37), 16509–16522. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.057>
- Wlodarczyk, R., Zasada, D., Morel, S., & Kacprzak, A. (2016). A comparison of nickel coated and uncoated sintered stainless steel used as bipolar plates in low-temperature fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(39), 17644–17651. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.231>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.117>
- Zhiani, M., Jalili, J., Rezaei, B., & Taghiabadi, M. M. (2013). Methanol electrooxidation on synthesized PtRu nanocatalyst supported on acetylene black in half cell and in direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(13), 5419–5424. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.088>