

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

SKRIPSI

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



Oleh :

THERESIA MARIANTI SIPAHUTAR

08031382025103

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

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

SKRIPSI

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

Oleh :

THERESIA MARIANTI SIPAHUTAR

08031382025103

Indralaya, 18 Juli 2024

**Menyetujui,
Pembimbing**



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Theresia Marianti Sipahutar (08031382025103) dengan judul “Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Menggunakan Katalis Pt-Black Dan Pt/C Untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) Pada Jenis Membran Elektrolit Dan Konsentrasi Metanol Bervariasi” telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Juli 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 18 Juli 2024

Ketua:

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

()

Sekretaris:

1. **Dr. Heni Yohandini, M.Si**
NIP: 197011152000122004

()

Pembimbing:

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

()

Penguji:

1. **Dr. Addy Rachmat M.Si**
NIP. 197409282000121001
2. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si** (
NIP. 196808271994022001

()
()

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 : Theresia Marianti Sipahutar

NIM : 08031382025103

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 starta (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, 18 Juli 2024

Yang menyatakan



Theresia Marianti Sipahutar

NIM. 08031382025103

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

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

Nama Mahasiswa : Theresia Marianti Sipahutar
NIM : 08031382025103
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) Menggunakan Katalis Pt-Black Dan Pt/C Untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) Pada Jenis Membran Elektrolit Dan Konsentrasi Metanol Bervariasi" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/ memformatikan, 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, 18 Juli 2024

Yang menyatakan



Theresia Marianti Sipahutar

NIM. 08031382025103

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa syukur, skripsi ini saya persembahkan kepada Tuhan Yesus Kristus, Sumber segala hikmat dan kekuatan. Atas anugerah dan kasih setia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Seperti tertulis dalam Firman-Nya: "Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku." (Filipi 4:13). "Ucaplah syukur senantiasa atas segala sesuatu dalam nama Tuhan kita Yesus Kristus kepada Allah dan Bapa kita." (Efesus 5:20).

Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan. "(Yeremia 29:11) . "Bersyukurlah kepada TUHAN, sebab Ia baik! Bahwasanya untuk selama-lamanya kasih setia-Nya." (Mazmur 136:1).

Saya juga sangat berterima kasih kepada semua orang yang ikut andil dalam pengerjaan skripsi ini. Saya sampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta [L.Sipahutar] dan [L.Siagian], tiada kata yang cukup untuk mengungkapkan betapa bersyukur penulis memiliki kalian dalam hidupnya. Setiap langkah yang penulis ambil dalam perjalanan perkuliahan ini, selalu merasakan dukungan kalian yang tak ternilai. Terima kasih telah menjadi pilar yang kokoh. Cinta kalian mengalir seperti air yang tak pernah kering, dengan doa dan pengorbanan kalian, penulis yakin bisa meraih mimpi-mimpiku dan membanggakan kalian suatu hari nanti. Semoga Tuhan selalu melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, dan berkah-Nya kepada kalian. Penulis berjanji akan selalu berusaha memberikan yang terbaik, menjadikan setiap langkahku sebagai bentuk terima kasih atas segala yang kalian berikan.
2. Saudara/i [agnes novita sipahutar], [andriano sipahutar], [alberta sipahutar] dan keluarga, yang selalu memberikan semangat dan dukungan. Terima kasih atas kebersamaan dan dorongan moral yang kalian berikan selama masa perkuliahan ini.

3. Dosen pembimbing (Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T.,Ph.D) Dengan penuh rasa hormat dan syukur, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, kesabaran, dan dukungan yang telah Bapak berikan selama proses penulisan skripsi ini. Di setiap pertemuan dan diskusi, saya selalu merasakan perhatian dan ketulusan yang luar biasa, bukan hanya memberikan ilmu, tetapi juga menanamkan nilai-nilai penting tentang dedikasi, ketekunan, dan semangat pantang menyerah. Setiap nasihat dan arahan yang Bapak sampaikan telah menjadi pelita yang menerangi jalan saya dalam menghadapi berbagai tantangan. saya berdoa semoga Tuhan senantiasa memberkati Bapak dengan kesehatan, kebahagiaan, dan kesuksesan dalam setiap langkah kehidupan.
4. Sahabat-sahabat terdekat,yang selalu ada untuk berbagi suka dan duka, memberikan dukungan moral, serta semangat yang tak pernah pudar. Terima kasih atas kebersamaan dan persahabatan yang tulus.
5. Seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Semoga kebaikan kalian dibalas berlipat ganda oleh Tuhan Yang Maha Esa.
6. Almamaterku Universitas Sriwijaya
7. Diriku sendiri

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan atas kasih dan kemurahan-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Menggunakan Katalis Pt-Black Dan Pt/C Untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) Pada Jenis Membran Elektrolit Dan Konsentrasi Metanol Bervariasi”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun materil akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasehat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan nikmat serta rahmat dan karunia-Nya yang luar biasa bagi penulis.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
3. Ibu Prof. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya sekaligus selaku pembahas dan penguji sidang sarjana penulis.
5. Ibu Prof. Dr.Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. juga selaku pembahas dan penguji sidang sarjana penulis.
6. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, membimbing serta mendidik selama masa perkuliahan hingga lulus.

7. Yuk Nur, Yuk Niar dan Yuk Yanti selaku Analis Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Kak Chosiin dan Mbak Novi selaku Admin Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya yang telah membantu dalam proses administrasi penulis hingga lulus.
9. Kak Dwi mentor selama penulis mengerjakan penelitian terimakasih telah banyak membantu memberikan saran serta masukkan kepada penulis hingga skripsi penulis selesai.
10. Kakak mentor PUR (Kak Reka, Kak Dwi, Kak Icha), terimakasih kakak-kakak atas semua ilmu yang sudah diberikan dan support yang senantiasa liak dapatkan dari wanita-wanita hebat ini.
11. Sahabatku suka maupun duka Regina faramitha yang selalu menjadi salah satu alasan penulis pulang untuk sekedar bercerita, terima kasih telah hadir menjadi pengisi ruang kosong dalam jiwa sepi ini.
12. Sahabat seperjuanganku yang menjadi saksi jatuh bangun penulis Nilda nursiahma aisah, dini eryani, erida novrilia, terima kasih memberikan warna dalam lembaran kosong hidup penulis. Banyak nya bantuan dan dorongan yang diberikan kepada penulis sungguh tidak dapat terbalaskan semoga Tuhan membalas kebaikan kalian.
13. Teruntuk tuan G dengan penuh rasa syukur dan penghargaan, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan dan kebersamaan yang telah kamu berikan selama proses penulisan skripsi ini. Di setiap momen penuh tekanan, selalu memberikan dorongan yang tak ternilai.
14. Patner seper- KP-an (Nilda, Dini, Juli) terima kasih telah memberikan kisah selama melakukan KP di DLHP Palembang
15. Kak Yollanda (Kim'19) yang sudah banyak membantu selama penelitian di PUR.
16. TIM PUR'20 (Iamria, Kira, Hawa, Eno, Mayu, Dina dan Putri), terima kasih telah memberikan bantuan serta motivasi bagi penulis selama masa penelitian.

17. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.
18. Teruntuk diriku sendiri terima kasih telah bertahan walau semangat hampir runtuh dan sering jatuh sakit namun masih ingin menyelesaikan apa yang sudah dimulai. Banyak nya cobaan yang dilalui membuat semakin kuat sampai titik akhir nanti. Tetap lah menjadi manusia ceria dan membawa dampak positif untuk lingkungan sekitar.

Semoga ilmu, bimbingan, masukan serta bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi tuaian bagi kalian. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan kesalahan, harapan penulis semoga ada hal positif yang dapat diambil dan lebih dikembangkan dari karya ilmiah skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih.

Indralaya, 18 juli 2024

Penulis

SUMMARY

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

Theresia Marianti Sipahutar, 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 testing of membrane electrode assembly (MEA) using Pt-Black and Pt/C catalysts for direct methanol fuel cell (DMFC) on electrolyte membranes with varying methanol concentrations has been carried out. MEA is designed by combining Pt-Black electrodes on the anode side and Pt/C on the cathode side using Nafion 117 (N117) and Nafion 212 (N212) membranes. MEA was characterized using the Cyclic Voltammetry (CV) method to determine the Electrochemical Surface Area (ECSA) value and the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method to determine the electrical conductivity value. MEA characterization results showed that the ECSA value obtained by MEA was the highest for the N 117 membrane at a concentration of 5%, amounting to $6.58 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$, while for the N 212 membrane the ESCA value was $2,87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$. The highest electrical conductivity value in MEA with the N117 membrane was $1.54 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ while the N212 membrane obtained a conductivity value of $7.62 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. MEA performance test results obtained the best open circuit voltage (OCV) value at a concentration of 5% with the OCV value of the N117 membrane being 0.257 V and the N212 membrane being 0.196 V and the optimum power density value of the N117 membrane was 0.038 mW/cm^2 while the optimum power density of the N212 membrane was 0.027 mW/cm^2 .

Keywords : Pt-Black; *Membrane Electrode Assembly (MEA)*; *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)*; Membranes Nafion 117; Nafion 212.

Citation : 58 (2010-2023)

RINGKASAN

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

Theresia Marianti Sipahutar, 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

Pengujian kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan katalis Pt-Black dan Pt/C untuk *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) pada jenis membran elektrolit dan variasi konsentrasi methanol telah dilakukan. MEA dirancang dengan menggabungkan elektroda Pt-Black pada sisi anoda dan Pt/C pada sisi katoda menggunakan membran Nafion 117 (N117) dan Nafion 212 (N212). MEA dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menentukan nilai ECSA (*Electrochemical Surface Area*) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menentukan nilai konduktivitas elektrik. Hasil karakterisasi MEA didapatkan nilai ECSA yang tertinggi pada membran N 117 pada konsentrasi 5% sebesar $6,58 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan pada membran N 212 nilai ESCA didapatkan sebesar $2,87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}$. Nilai konduktivitas elektrik tertinggi pada MEA dengan membran N117 sebesar $1,54 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ sedangkan membran N212 didapatkan nilai konduktivitas sebesar $7,62 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Hasil uji kinerja MEA nilai OCV yang terbaik diperoleh pada konsentrasi 5% dengan nilai OCV membran N117 sebesar 0,257 V dan membran N212 sebesar 0,196 V serta nilai densitas daya optimum membran N117 didapatkan sebesar $0,038 \text{ mW/cm}^2$ sedangkan densitas daya optimum membran N212 didapatkan sebesar $0,027 \text{ mW/cm}^2$.

Kata Kunci : Pt-Black; *Membrane Electrode Assembly* (MEA); *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC); Membran Nafion 117; Nafion 212.

Sitasi : 58 (2010-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Fuel cell</i>	4
2.2 Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i>	5
2.3 <i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	6
2.4 <i>Membrane electrode assembly (MEA)</i>	8
2.5 Metode <i>Spraying</i>	8
2.6 Katalis Pt/C dan <i>Pt-Black</i>	9
2.7 Membran Nafion	10
2.8 Karakterisasi MEA.....	11
2.8.1 <i>Cyclic voltammetry (CV)</i>	11
2.8.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	12
BAB III METODOLOGI PENEELITIAN	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 Gas Diffusion Layer (GDL)	13
3.3.2	Pembuatan elektroda Pt- <i>Black</i>	14
3.3.3	Pembuatan elektroda Pt/C	14
3.3.4	Aktivasi Membran.....	14
3.4	Pembuatan dan Karakterisasi MEA	14
3.4.1	Karakterisasi Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	15
3.4.2	Karakterisasi Menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	15
3.4.3	Pengujian kinerja MEA terhadap Variasi Membran	16
3.5	Analisis Data	16
3.5.1	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	16
3.5.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	16
3.6	Analisis Kinerja MEA.....	17
BAB IV PEMBAHASAN.....		18
4.1	Karakterisasi MEA dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	18
4.2	Karakterisasi MEA menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	20
4.3	Pengujian Kinerja MEA pada Variasi Membran	22
4.4	Pengaruh Densitas Arus terhadap Tegangan pada Jenis Membran dan Konsentrasi Metanol yang Bervariasi	23
4.5	Pengaruh Konsentrasi Metanol Terhadap Densitas Daya Pada Jenis Membran dan Konsentrasi Metanol Bervariasi.....	24
BAB V KESIMPULAN		27
5.1	Kesimpulan	27
5.2	Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA		28

LAMPIRAN..... 33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Reaksi Direct Methanol Fuel Cell (Mendonça et al., 2021).....	5
Gambar 2. Komponen direct methanol fuel cell (DMFC) (Zhang et al., 2022) .	7
Gambar 3. Kurva voltamogram MEA (a) Membran N117 dan (b) Membran.... N212.....	18
Gambar 4. Kurva Nyquist MEA (a) Membran N117 dan (b) Membran N212...	20
Gambar 5. Kurva polarisasi I-V MEA (a) Membran N117 dan (b) Membran ... N212.....	24
Gambar 6. Kurva performance MEA (a)Membran N117 dan (b)Membran...	25

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai ECSA pada MEA Membran N117 dan N212.....	19
Tabel 2. Nilai Konduktivitas Isitrik pada MEA dengan Membran N117 dan N212.....	21
Tabel 3. Nilai OCV pada MEA dengan Membran N117 dan Membran N212 .	22

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	34
Lampiran 2. Perhitungan pembuatan GDL	37
Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan Elektroda.....	38
Lampiran 4. Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran Cyclic Voltammetry (CV).....	40
Lampiran 5. Perhitungan Nilai Konduktivitas Pengukuran Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)	57
Lampiran 6. Data hasil Uji Kinerja MEA	67
Lampiran 7. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil. Seiring berjalannya waktu ketersediaan energi fosil semakin menipis. Penggunaan energi baru terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil (Azhar & Satriawan, 2018). Para peneliti berfokus pada pengembangan sumber energi yang lebih ramah lingkungan. *Fuel cell* menawarkan alternatif yang berpotensi lebih berkelanjutan dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Suominen & Tuominen, 2010).

Fuel cell merupakan sebuah perangkat elektrokimia yang memanfaatkan reaksi oksidasi reduksi dengan menggunakan metanol dan oksigen untuk menghasilkan energi listrik. Penggunaan metanol pada *fuel cell* menghasilkan tenaga listrik dan air sebagai produk sampingan utama. Hal inilah yang menjadi salah satu keunggulan utama dari teknologi *fuel cell* karena produksi energi listriknya bersifat bersih, tanpa menghasilkan polutan atau emisi gas rumah kaca yang berbahaya (Benchouia *et al.*, 2015). Adapun beberapa Jenis *fuel cell* meliputi *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* (PEMFC), *Direct Methanol Fuel Cells* (DMFC), *Phosphoric Acid Fuel Cells* (PAFC), *Alkaline Fuel Cells* (AFC), *Molten Carbonate Fuel Cells* (MCFC) dan *Solid Oxide Fuel Cells* (SOFC). *Fuel cell* memiliki keunggulan dibandingkan sistem lain karena tingginya efisiensi listrik dan kinerja bahan bakar (Abdalla *et al.*, 2018).

Direct Methanol Fuel Cells (DMFC) adalah perangkat elektrokimia yang secara langsung mengubah energi kimia metanol menjadi energi listrik. DMFC dianggap sebagai salah satu sumber daya alternatif terbaik untuk perangkat elektronik portabel masa depan karena densitas energinya yang tinggi (Kim *et al.*, 2017). DMFC memiliki bagian utama berupa anoda dan katoda dalam reaksi elektrokimia yang tersusun dari beberapa komponen seperti plat bipolar, plat penutup (*end plate*), *current collector*, elektroda dan *Membrane Electrode Assembly* (MEA). Reaksi elektrokimia yang efisien dapat terjadi ketika sel bahan bakar menggunakan pasokan hidrogen (H₂) atau metanol sebagai bahan bakar dan

oksigen (biasanya dari udara) sebagai agen oksidasi, akibatnya reaksi oksidasi elektrokimia dapat mencapai kinerja tinggi. Dalam sel bahan bakar, hidrogen atau metanol bertindak sebagai bahan bakar pada katoda (anoda), dan oksigen dari udara bertindak sebagai agen oksidasi pada katoda (katoda), yang terpisah oleh elektrolit. Proses reaksi elektrokimia berlangsung di dalam sel bahan bakar, di mana hidrogen dioksidasi menjadi proton (H^+) dan elektron (e^-) pada katoda (Alias *et al.*, 2020).

Dalam sistem tenaga *direct methanol fuel cell* (DMFC), *Membrane electrode assembly* (MEA) adalah komponen penting dalam *fuel cell*. MEA bertanggung jawab atas reaksi elektrokimia yang mengubah bahan bakar (seperti hidrogen atau metanol) menjadi daya listrik. (Bujalski *et al.*, 2013). Elektrokatalis DMFC ini biasanya menggunakan Pt/C karena memiliki efisiensi yang tinggi (Vietanti *et al.*, 2019). Katalis logam Pt adalah katalis yang sangat aktif untuk oksidasi CO dan telah menarik banyak perhatian karena strukturnya yang baik. Logam ini juga memiliki kapasitas penyimpanan oksigen yang tinggi, dan biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan katalis logam mulia lainnya. Sisi terbuka dan interaksi pendukung katalis logam Pt juga sangat mempengaruhi oksidasi CO (Dey & Dhal, 2020).

Membran adalah komponen esensial dalam DMFC yang berfungsi sebagai konduktor proton dan pemisah reaktan Membran yang paling umum digunakan adalah membran berbasis Nafion. Nafion adalah polimer sulfonat yang memiliki kemampuan konduktivitas proton yang tinggi dan stabilitas kimia serta termal yang sangat baik (Ercelik *et al.*, 2017). Penelitian ini memanfaatkan dua jenis membran, yakni membran Nafion 117 dan membran Nafion 212, untuk mengeksplorasi dampak kinerja DMFC dari kedua jenis membran tersebut. Membran Nafion 212 biasanya dipergunakan dalam *fuel cell* berbasis *Proton Exchange Membrane* (PEMFC). Secara umum, performa membran yang lebih tebal cenderung meningkat karena kemampuan yang lebih baik dalam mengurangi tingkat perpindahan metanol, meningkatkan efisiensi penggunaan metanol, dan memperbaiki manajemen air yang efisien (Seo & Lee, 2010). Konsentrasi metanol merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kinerja DMFC dimana pada konsentrasi metanol yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi membran

dan material elektroda lebih cepat. Pengujian pada berbagai konsentrasi membantu menemukan konsentrasi yang meminimalkan degradasi ini. Penelitian sebelumnya telah mengevaluasi kinerja DMFC dengan berbagai konsentrasi metanol menggunakan katalis yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan katalis *Pt-Black* dan variasi konsentrasi metanol untuk menentukan kinerja terbaik DMFC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai ECSA dan konduktivitas listrik MEA dengan katalis *Pt-Black* dan *Pt/C* menggunakan metode *Cyclic Voltammetry (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*?
2. Bagaimana kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) menggunakan metode *spraying* dengan katalis *Pt-Black* dan *Pt/C* pada jenis membran elektrolit dan konsentrasi metanol bervariasi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik MEA dengan katalis *Pt-Black* dan *Pt/C* menggunakan metode *Cyclic Voltammetry (CV)* dan pengukuran konduktivitas menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*.
2. Mengetahui kinerja *membrane electrode assembly* (MEA) menggunakan katalis *Pt-Black* dan *Pt/C* untuk *direct methanol fuel cell* (DMFC) pada jenis membran elektrolit dan konsentrasi metanol bervariasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menentukan nilai ECSA dan konduktivitas listrik dari MEA dengan katalis *Pt-Black* dan *Pt/C* menggunakan metode *Cyclic Voltammetry (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)* serta dapat menguji kinerja MEA untuk DMFC pada membran N117 dan N212.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, A. M., Hossain, S., Azad, A. T., Petra, P. M. I., Begum, F., Eriksson, S. G., & Azad, A. K. (2018). Nanomaterials for solid oxide fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(May): 353–368.
- Akyüz, D. (2021). Electrochemical and in-situ spectroelectrochemical behaviors of non-peripherally tetra substituted zinc(Ii) and magnesium(ii) phthalocyanines. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 8(1): 9–20.
- Alias, M. S., Kamarudin, S. K., Zainoodin, A. M., & Masdar, M. S. (2020). Active direct methanol fuel cell: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(38): 19620–19641.
- Alyousef, Z., & Crisalle, O. D. (2023). Critical analysis for evaluating maximum power point tracking strategy in photovoltaics and fuel cells using key performance metrics. *Energy Reports*, 10(May): 4692–4703.
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4): 398–412.
- Baruah, B., & Deb, P. (2021). *Materials Advances Performance and application of carbon-based electrocatalysts in direct methanol fuel cell*. 5344–5364.
- 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.
- Bogolowski, N., & Drillet, J. F. (2015). Appropriate balance between methanol yield and power density in portable direct methanol fuel cell. *Chemical Engineering Journal*, 270: 91–100.
- Bujalski, W., Chandan, A., Hattenberger, M., El-kharouf, A., Du, S., Dhir, A., Self, V., Pollet, B. G., Ingram, A., & Bujalski, W. (2013). High temperature (HT) polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) – A review. *Journal of Power Sources*, 231: 264–278.
- Del Olmo, D., Pavelka, M., & Kosek, J. (2021). Open-Circuit Voltage Comes from Non-Equilibrium Thermodynamics. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 46(1): 91–108.
- Dey, S., & Dhal, G. C. (2020). Property and structure of various platinum catalysts for low-temperature carbon monoxide oxidations. *Materials Today Chemistry*, 16: 100228.
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., & Dempsey, J. L. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2): 197–206.

- 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.
- Experimental measurements of fuel and water crossover in an active DMFC. (2021). *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(5): 4437–4446.
- Felseghi, R. A., Carcadea, E., Raboaca, M. S., Trufin, C. N., & Filote, C. (2019). Hydrogen fuel cell technology for the sustainable future of stationary applications. *Energies*, 12(23).
- Gharbi, O., Tran, M. T. T., Tribollet, B., Turmine, M., & Vivier, V. (2020). Revisiting cyclic voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy analysis for capacitance measurements. *Electrochimica Acta*, 343.
- Gramy Instruments Inc. (2014). Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy Impedance Values. *Application Note Rev. 20 (215)*: 1–28.
- Hoyos-arbeláez, J., Vázquez, M., & Contreras-calderón, J. (2016). Interdisciplinary Group of Molecular Studies (GIEM), Chemistry Institute , School of BIOALI Research Group , Food Department , Faculty of Pharmaceutical and Food. *Food Chemistry*.
- Jawad, N. H., Yahya, A. A., Al-Shathr, A. R., Salih, H. G., Rashid, K. T., Al-Saadi, S., Abdulrazak, A. A., Salih, I. K., Zrelli, A., & Alsalhy, Q. F. (2022). Fuel Cell Types, Properties of Membrane, and Operating Conditions: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21).
- Jayakumar, A., Madheswaran, D. K., & Kumar, N. M. (2021). A critical assessment on functional attributes and degradation mechanism of membrane electrode assembly components in direct methanol fuel cells. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24).
- Joghee, P., Malik, J. N., Pylypenko, S., & O’Hayre, R. (2015). A review on direct methanol fuel cells–In the perspective of energy and sustainability. *MRS Energy and Sustainability*, 2(1): 1–31.
- Joghee, P., Malik, J. N., Pylypenko, S., & O’Hayre, R. (2015). A review on direct methanol fuel cells–In the perspective of energy and sustainability. *MRS Energy and Sustainability*, 2(1): 1–31.
- Kim, S., Park, J. E., Hwang, W., Cho, Y. H., & Sung, Y. E. (2017). A hierarchical cathode catalyst layer architecture for improving the performance of direct methanol fuel cell. *Applied Catalysis B: Environmental*, 209: 91–97.
- Koungkolos, G., Golzio, M., Laudebat, L., Valdez-Nava, Z., & Flahaut, E. (2023). Hydrogels with electrically conductive nanomaterials for biomedical applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 11(10): 2036–2062.
- Lee, J., Lee, S., Han, D., Gwak, G., & Ju, H. (2017). Numerical modeling and simulations of active direct methanol fuel cell (DMFC) systems under

- various ambient temperatures and operating conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(3): 1736–1750.
- Lim, B. H., Majlan, E. H., Tajuddin, A., Husaini, T., Wan Daud, W. R., Mohd Radzuan, N. A., & Haque, M. A. (2021). Comparison of catalyst-coated membranes and catalyst-coated substrate for PEMFC membrane electrode assembly: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 33: 1–16.
- Lin, H. L., & Wang, S. H. (2014). Nafion/poly(vinyl alcohol) nano-fiber composite and Nafion/poly(vinyl alcohol) blend membranes for direct methanol fuel cells. *Journal of Membrane Science*, 452: 253–262.
- Luo, X., Lau, G., Tesfaye, M., Arthurs, C. R., Cordova, I., Wang, C., Yandrasits, M., & Kusoglu, A. (2021). Thickness Dependence of Proton-Exchange-Membrane Properties. *Journal of The Electrochemical Society*, 168(10).
- Macdonald, J. R., & Johnson, W. B. (2018). *Fundamentals of Impedance Spectroscopy 1.1 Background, Basic Definitions, And History 1.1.1 The Importance of Interfaces*.
- Magar, H. S., Hassan, R. Y. A., & Mulchandani, A. (2021). Electrochemical impedance spectroscopy (Eis): Principles, construction, and biosensing applications. *Sensors*, 21(19).
- Mardwita, M., Bustan, M. D., & Haryati, S. (2016). Studi Pengaruh Ukuran Partikel Ruthenium Dalam Katalis Ru/Al₂O₃ Pada Reaksi Hidrogenasi Karbon Monoksida. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(4): 61–68.
- Mendonça, C., Ferreira, A., & Santos, D. M. F. (2021). Towards the Commercialization of Solid Oxide Fuel Cells: Recent Advances in Materials and Integration Strategies. *Fuels*, 2(4): 393–419.
- Motlak, M., Barakat, N. A. M., Akhtar, M. S., Hamza, A. M., Kim, B. S., Kim, C. S., Khalil, K. A., & Almajid, A. A. (2015). High performance of NiCo nanoparticles-doped carbon nanofibers as counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, 160: 1–6.
- Munjewar, S. S., Thombre, S. B., & Mallick, R. K. (2017). Approaches to overcome the barrier issues of passive direct methanol fuel cell – Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67: 1087–1104.
- Oliveira, V. B., Pereira, J. P., & Pinto, A. M. F. R. (2016). Effect of anode diffusion layer (GDL) on the performance of a passive direct methanol fuel cell (DMFC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(42): 19455–19462.
- Purnami, P., Wardana, I., & K, V. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1): 51–59.
- Rao, V., Andreas Friedrich, K., & Stimming, U. (2015). Proton-Conducting

Membranes for Fuel Cells. *Handbook of Membrane Separations*, 759–820.

- Rohendi, D., Herianto, E., & Bakar, A. (2019). *Author ' s personal copy Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions*.
- Rohendi, D., Syarif, N., Said, M., Utami, M. T., & Marcelina, Y. (2019). Utilization of catalyst-coated membrane (CCM) and spraying methods in fabrication membrane electrode assembly (MEA) for direct methanol fuel Cell (DMFC) using Pt-Co/C catalyst. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282(1).
- Samimi, F., & Rahimpour, M. R. (2018). Direct Methanol Fuel Cell. In *Methanol: Science and Engineering*. Elsevier B.V.
- Sarfraz, A., Raza, A. H., Mirzaeian, M., Abbas, Q., & Raza, R. (2021). Electrode Materials for Fuel Cells. *Encyclopedia of Smart Materials*, 341–356.
- Sazali, N., Salleh, W. N. W., Jamaludin, A. S., & Razali, M. N. M. (2020). New perspectives on fuel cell technology. *Membranes*, 10(5): 99.
- Sebastián, D., Baglio, V., Aricò, A. S., Serov, A., & Atanassov, P. (2016). Performance analysis of a non-platinum group metal catalyst based on iron-aminoantipyrine for direct methanol fuel cells. *Applied Catalysis B: Environmental*, 182, 297–305.
- Seo, S. H., & Lee, C. S. (2010). The effects of membrane thickness on the performance and impedance of the direct methanol fuel cell. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 224(10): 2211–2221.
- Sharma, R., Sarkar, A., Jha, R., Kumar Sharma, A., & Sharma, D. (2020). Sol-gel-mediated synthesis of TiO₂ nanocrystals: Structural, optical, and electrochemical properties. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(3): 1400–1409.
- 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.
- Sunitha, M., Durgadevi, N., Asha, S., & Ramachandran, T. (2018). Performance evaluation of nickel as anode catalyst for DMFC in acidic and alkaline medium. *Ranliao Huaxue Xuebao/Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 46(5): 592–599.
- Suominen, A., & Tuominen, A. (2010). Analyzing the Direct Methanol Fuel Cell technology in portable applications by a historical and bibliometric analysis. *Administration 117 Journal of Business Chemistry*, 7(3).
- Suter, T. A. M., Smith, K., Hack, J., Rasha, L., Rana, Z., Angel, G. M. A.,

- Shearing, P. R., Miller, T. S., & Brett, D. J. L. (2021). Engineering Catalyst Layers for Next-Generation Polymer Electrolyte Fuel Cells: A Review of Design, Materials, and Methods. *Advanced Energy Materials*, 11(37).
- Tesfu-Zeru, T., Sakthivel, M., & Drillet, J. F. (2017). Investigation of mesoporous carbon hollow spheres as catalyst support in DMFC cathode. *Applied Catalysis B: Environmental*, 204: 173–184.
- Vietanti, F., Susanti, D., Purwaningsih, H., & Kurniawan, F. (2019). Pengaruh Reduktor Zink pada Sintesis Graphene terhadap Performa PdAu/Graphene sebagai Material Elektrokatalis DMFC. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VII- Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 379–384.
- Wang, G., Sun, G., Wang, Q., Wang, S., Sun, H., & Xin, Q. (2010). Effect of carbon black additive in Pt black cathode catalyst layer on direct methanol fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(20): 11245–11253.
- Wang, X., Zhang, Y., Zhu, Y., Lv, S., Ni, H., Deng, Y., & Yuan, Y. (2022). Effect of Different Hot-Pressing Pressure and Temperature on the Performance of Titanium Mesh-Based MEA for DMFC. *Membranes*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/membranes12040431>
- Wei, J., Ning, F., Bai, C., Zhang, T., Lu, G., Wang, H., Li, Y., Shen, Y., Fu, X., Li, Q., Jin, H., & Zhou, X. (2020). An ultra-thin, flexible, low-cost and scalable gas diffusion layer composed of carbon nanotubes for high-performance fuel cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(12): 5986–5994.
- Weng, L. C., Bell, A. T., & Weber, A. Z. (2019). Towards membrane-electrode assembly systems for CO₂ reduction: A modeling study. *Energy and Environmental Science*, 12(6): 1950–1968.
- Yuan, W., Tang, Y., Wan, Z., & Pan, M. (2011). Operational characteristics of a passive air-breathing direct methanol fuel cell under various structural conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(3): 2237–2249.
- Yuan, Z., Chuai, W., Guo, Z., Tu, Z., & Kong, F. (2019). Thermal layout analysis and design of direct methanol fuel cells on PCB based on novel particle swarm Optimization. *Micromachines*, 10(10).
- Zhang, D., Li, K., Wang, Z., & Zhao, Z. (2022). Reduced Graphene Oxide/Carbon Paper for the Anode Diffusion Layer of a Micro Direct Methanol Fuel Cell. *Nanomaterials*, 12(17): 1–13.
- Zhang, D., Li, X., Wang, W., & Zhao, Z. (2022). Internal Characterization-Based Prognostics for Micro-Direct-Methanol Fuel Cells under Dynamic Operating Conditions. *Sensors*, 22(11).
- Zhou, K. L., Wang, Z., Han, C. B., Ke, X., Wang, C., Zhang, Q., Liu, J., Wang, H., & Yan, H. (2021). Accelerating Alkaline Hydrogen Evolution Reaction. *Nature Communications*, 2021, 1–10.