

**PENGUJIAN KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)
DENGAN KATALIS Pt/C PADA PEMFC DENGAN LAJU ALIR GAS
HIDROGEN BERVARIASI**

SKRIPSI

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



Oleh:

PUTRI SARI WAHYUNINGSIH

08031182025001

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUJIAN KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)
DENGAN KATALIS P/C PADA PEMFC DENGAN LAJU ALIR GAS
HIDROGEN BERVARIASI**

SKRIPSI

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

Oleh

PUTRI SARI WAHYUNINGSIH

08031182025001

Indralaya 20 Maret 2024

Mengetahui

Pembimbing



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

NIP. 196704191993031001



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Putri Sari Wahyuningsih (08031182025001) dengan judul “Pengujian Kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan Katalis Pt/C pada PEMFC dengan Laju Alir Gas Hidrogen Bervariasi” telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 20 Maret 2024

Ketua :

1. **Fahma Riyanti, M.Si.**

NIP. 197204082000032001

()

Sekretaris :

1. **Dr. Desnelli, M.Si.**

196912251997022001

()

Pembimbing :

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


NIP. 196704191993031001

()

Penguji :

1. **Dr. Zainal Fanani, M.Si.**

NIP. 196708211995121001

()

2. **Dr. Ferlinahayati, M.Si.**

NIP. 197402052000032001

()



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

NIP. 197111191997021001

Mengetahui,



Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Putri Sari Wahyuningsih

NIM : 08031182025001

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 20 Maret 2024

Penulis,



Putri Sari Wahyuningsih

NIM. 08031182025001

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

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

Nama Mahasiswa : Putri Sari Wahyuningsih
NIM : 08031182025001
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/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: “Pengujian Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt/C pada PEMFC dengan Laju Alir Gas Hidrogen Bervariasi”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, 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 Maret 2024

Penulis,



Putri Sari Wahyuningsih

NIM. 08031182025001

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Ketetapan Allah pasti datang, maka janganlah kamu meminta agar dipercepat (datang)nya. Maha Suci Allah dan Maha Tinggi Dia dari apa yang mereka persekutukan." (QS. An-Nahl: 1).

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan" (QS. Al-Insyiraah: 6).

"Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui." (QS. Al-Baqarah: 216).

Skripsi ini sebagai tanda syukur dan terimakasih kepada Alah SWT dan Baginda Rasul Muhammad SAW, dan saya persembahkan kepada:

1. Papaku Indra Wahyudi dan Mamaku Cik Intan Sari Mahayati, yang Uti sayangi, yang selalu mendoakan dan support Uti yang tidak pernah terputus.
2. Adik-adikku Tiara Hamala Rizkia, Khalaf Fauzi Wahyudi dan Khansa Fauziyah Chan yang Uti sayangi yang telah memberikan semangat serta memberikan dukungan dan menjadi penghiburku.
3. Keluarga besarku yang selalu mensupport dan mendoakanku.
4. Dosen pembimbing (Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.).
5. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Almamater Universitas Sriwijaya.
8. Orang-orang yang mencintaiku.
9. Diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji dan syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengujian Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt/C pada PEMFC dengan Laju Alir Gas Hidrogen Bervariasi”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

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

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Mama dan Papa terhebatku, terima kasih semua doa dan dukungan yang telah diberikan, nasihat kebaikan yang selalu menjadi penyemangat untuk melangkah dalam kehidupan hingga saat ini.
2. Adik-adikku Tiara Hamala Rizkia, Khalaf Fauzi Wahyudi dan Khansa Fauziah Chan tersayang, terima kasih telah memberi semangat dan dukungan dikala ayuk merasa letih. Semangat terus untuk adek ayuk sayang, selalu jadi kebanggaan mamak dan bapak, belajarlah dengan giat untuk mencapai cita-cita yang adek inginkan, aamiin ya Allah.
3. Bapak Prof. Hermasyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

6. Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si. dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
8. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Mba Novi dan Kak Chosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.
10. Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan dan senantiasa memberi dukungan dan arahan.
11. Orang baik yang telah hadir di dalam hidup penulis yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan dan penyemangat, menjadi tempat berbagi kisah, menemani dalam kebahagiaan dan kesedihan, serta mendengarkan keluh kesah penulis.
12. Kakak-kakak mentor PUR (Kak Reka, Kak Dwi, Kak Icha), mentorku yang paling keren, terima kasih telah sabar dalam membimbing Putri dan terima kasih banyak atas ilmu dan arahan yang diberikan sehingga penelitian dan proses penulisan Putri dapat terselesaikan dengan baik. Semoga kakak senantiasa dalam lindungan Allah SWT dan dilancarkan segala urusannya.
13. Sahabat terbaikku dalam segala hal (Dina Yuniarti) terima kasih telah menjadi pendengar terbaikku, tempat mencurahkan segala isi hati, selalu ada dikala senang dan sedihku, yang menerimaku apa adanya, khususnya menjadi rumah ternyaman.
14. Sobat PODCAST (Rafly, Shinta, Adel, Dina, Sera, Pia) terima kasih telah menjadi teman seperjuangan sekaligus keluarga selama di perkuliahan hingga sekarang, terima kasih atas segala support, kebaikan, ketulusan dan semangat dari kalian.
15. Bidadari Tanjung Bulan (Nia, Alia, Mira, Nurul, Dina, Hanifah) terima kasih untuk 40 harinya yang sangat berkesan selama di Lahat. Terima kasih telah menjadi tempat ternyaman untuk bersedih dan berkeluh kesah. Semoga pertemanan kita selalu terjaga, sukses selalu untuk saudari-saudariku.

16. Tim PUR GENG 20 (Hawa, Dina, Kira, Lia, Mayu, There, Eno) terima kasih atas dukungan, hiburan, dan bantuannya selama penelitian. Sukses untuk teman-teman semua.
17. Saudari Asuhku (Kak Cici, Kak Annash, Diana, dan Suan, dan Vio) terima kasih telah memberikan support, saran serta dukungannya, semoga kalian sukses selalu.
18. Teman Ganjilku (Hanifah dan Sandi) terima kasih telah menyediakan tempat ternyaman untuk berbagi cerita random tentang kimia dan turunan-turunannya, semangat selalu untuk kita, semoga kita sehat selalu dan sukses untuk kita.
19. Rekan-rekan seperjuangan Kimia Angkatan 2020, terima kasih atas kerja samanya selama ini dan semangat dari kalian semua, sukses selalu.
20. 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.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, Maret 2023

Penulis

SUMMARY

PERFORMANCE TESTING OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) WITH Pt/C CATALYST ON PEMFC WITH VARIED HYDROGEN GAS FLOW RATE

Putri Sari Wahyuningsih : Supervised by Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University
ix + 59 pages, 1 table, 9 pictures, 7 appendices

Performance Testing of Membrane Electrode Assembly (MEA) with Pt/C Catalyst on PEMFC with Varying Hydrogen Gas Flow Rates has been carried out. MEA performance depends on the type of catalyst and hydrogen gas flow rate used. MEA was made using a commercial Pt/C catalyst on the cathode combined with a synthetic Pt/C catalyst on the anode and sandwiching a Nafion 212 electrolyte membrane. Tests were carried out with varying hydrogen gas flow rates of 100, 200, 300, and 400 mL/minute with the aim of determining influence of the amount of hydrogen gas on MEA performance in PEMFC. The synthesis of the Pt/C catalyst was carried out using a sonochemical method which produces free radicals which will reduce Pt^{4+} to Pt^0 . MEA was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Cyclic Voltammetry (CV), and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) methods. MEA performance testing was carried out using WonAtech Smart-2.

Based on the XRD characterization results, it was found that $2\theta = 18.50^\circ$ was a PTFE peak, $2\theta = 26.98^\circ$ was a carbon peak, $2\theta = 44.70^\circ$ was a platinum peak, and $2\theta = 55.07^\circ$ was a granite peak. The results of characterization using SEM-EDX showed that the carbon percentage was 95.117%, fluoride was 2.499%, and platinum was 0.787%, and the average electrode thickness was 237.318 μm . The ECSA value for the electrode using a synthetic Pt/C catalyst was found to be 0.862 m^2/mg , while the ECSA value for the electrode using a commercial Pt/C catalyst was 1.133 m^2/mg . The electrical conductivity value obtained for the synthetic Pt/C electrode was 5.589×10^{-3} S/cm, while for the commercial Pt/C electrode the electrical conductivity value was 10.48×10^{-3} S/cm. The best MEA performance was obtained at a hydrogen gas flow rate of 300 mL/minute, producing an optimum power density of 2.732 mW/cm^2 .

Keywords : Membrane Electrode Assembly (MEA), Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), Pt/C Catalyst
Citations : 53 (2013-2023)

RINGKASAN

PENGUJIAN KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt/C PADA PEMFC DENGAN LAJU ALIR GAS HIDROGEN BERVARIASI

Putri Sari Wahyuningsih : dibimbing oleh Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
ix + 59 halaman, 1 tabel, 9 gambar, 7 lampiran

Telah dilakukan Pengujian Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt/C pada PEMFC dengan Laju Alir Gas Hidrogen Bervariasi. Kinerja MEA tergantung dengan jenis katalis dan laju alir gas hidrogen yang digunakan. MEA dibuat dengan menggunakan katalis Pt/C komersial pada katoda yang digabungkan dengan katalis Pt/C sintesis pada anoda dan mengapit membran elektrolit nafion 212. Pengujian dilakukan dengan variasi laju alir gas hidrogen 100, 200, 300, dan 400 mL/menit bertujuan untuk menentukan pengaruh jumlah gas hidrogen terhadap kinerja MEA pada PEMFC. Sintesis katalis Pt/C dilakukan dengan metode sonokimia yang menghasilkan radikal bebas yang akan mereduksi Pt^{4+} menjadi Pt^0 . MEA dikarakterisasi dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Cyclic Voltammetry* (CV), dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Pengujian kinerja MEA dilakukan dengan menggunakan *WonAtech Smart-2*.

Hasil karakterisasi elektroda dengan metode XRD didapatkan puncak $2\theta = 18,50^\circ$ merupakan puncak PTFE, $2\theta = 26,98^\circ$ merupakan puncak karbon, $2\theta = 44,70^\circ$ merupakan puncak platina, dan $2\theta = 55,07^\circ$ merupakan puncak graphite. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX didapatkan persentase karbon sebesar 95,117%, florida sebesar 2,499%, dan platina sebesar 0,787%, serta diketahui ketebalan rata-rata elektroda sebesar 237,318 μm . Nilai ECSA pada elektroda yang menggunakan katalis Pt/C sintesis didapatkan sebesar 0,862 m^2/mg , sedangkan elektroda yang menggunakan katalis Pt/C komersial nilai ECSA sebesar 1,133 m^2/mg . Nilai konduktivitas listrik yang didapatkan untuk elektroda Pt/C sintesis sebesar $5,589 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$, sedangkan pada elektroda Pt/C komersial didapatkan nilai konduktivitas listrik sebesar $10,48 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$. Kinerja MEA terbaik didapatkan pada laju alir gas hidrogen 300 mL/menit dengan menghasilkan densitas daya yang optimum sebesar 2,732 mW/cm^2 .

Kata Kunci : Membrane Electrode Assembly (MEA), Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), Katalis Pt/C
Sitasi : 53 (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
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 <i>Fuel Cell</i>	3
2.2 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i>	4
2.3 Komponen Penyusun PEMFC.....	5
2.3.1 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	5
2.3.2 Elektroda.....	5
2.3.3 <i>Gas Difussion Layer (GDL)</i>	6
2.3.4 <i>Catalyst Layer (CL)</i>	7
2.3.5 Katalis Pt.....	7
2.3.6 Membran Elektrolit Nafion.....	7
2.3.7 <i>Bipolar Plate (BP)</i>	8
2.4 Metode Sonokimia.....	8
2.5 Karakterisasi Elektroda	9
2.5.1 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	9

2.5.2	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	9
2.5.3	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	10
2.5.4	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		11
3.1	Waktu dan Tempat	11
3.2	Alat dan Bahan	11
3.2.1	Alat.....	11
3.2.2	Bahan	11
3.3	Prosedur Percobaan	11
3.3.1	Pembuatan Katalis Pt/C	11
3.3.2	Pembuatan GDL	12
3.3.3	Pembuatan Elektroda	12
3.3.4	Karakterisasi Elektroda.....	13
3.3.5	Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	15
3.3.6	Pengujian Kinerja MEA dengan Katalis Pt/C pada PEMFC ...	15
3.4	Analisis Data	16
3.4.1	Analisis Data Pengaruh Laju Alir Hidrogen.....	16
3.4.2	Analisis <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		18
4.1	Pembuatan Katalis Pt/C dengan Metode Sonokimia.....	18
4.2	Pembuatan Elektroda dan Karakterisasi Elektroda	19
4.2.1	Karakterisasi Elektroda dengan SEM-EDX	19
4.2.2	Karakterisasi Elektroda dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	20
4.2.3	Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	21
4.2.4	Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	23
4.3	Pengaruh Laju Alir Hidrogen terhadap Kinerja MEA	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		28
5.1	Kesimpulan	28
5.2	Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA		29
LAMPIRAN		35

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Desain dasar fuel cell (Qussay et al., 2021).....	3
Gambar 2. Skema PEMFC (Lim et al., 2021)	4
Gambar 3. Proses sintesis katalis Pt/C.....	18
Gambar 4. Elektroda Pt/C.....	19
Gambar 5. (a) Morfologi dan komposisi hasil SEM-EDX elektroda Pt/C perbesaran 10.000× (b) Ketebalan elektroda dengan skala 1:200 µm.....	20
Gambar 6. Pola XRD nanopartikel Pt/C sintesis dengan metode sonokimia.....	21
Gambar 7. Kurva voltammogram dengan laju telusur 100 mV/s a) Pt/C sintesis b) Pt/C komersial.....	22
Gambar 8. Kurva nyquist a) Elektroda Pt/C sintesis b) Elektroda Pt/C komersial	24
Gambar 9. Nilai OCV pada variasi laju alir gas hidrogen.....	25
Gambar 10. Kinerja MEA pada laju alir gas hidrogen (a) Kurva I-V (b) Kurva I-P	26

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Laju alir hidrogen.....	16

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja.....	36
Lampiran 2. Komposisi Bahan Katalis.....	41
Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan Elektroda.....	42
Lampiran 4. Perhitungan Nilai ECSA Karakterisasi CV	44
Lampiran 5. Perhitungan Nilai Konduktivitas dari Pengukuran EIS	47
Lampiran 6. Data Hasil Uji Kinerja dengan Variasi Laju Alir Gas Hidrogen	49
Lampiran 7. Gambar Alat dan Bahan Penelitian.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi bahan bakar fosil saat ini meningkat seiring dengan banyaknya penggunaan transportasi berbahan bakar fosil. Hal ini berdampak buruk terhadap lingkungan karena memiliki emisi gas buang seperti karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan sulfur dioksida yang berbahaya bagi kesehatan manusia. (Nugroho, 2022). Kekhawatiran terhadap persediaan bahan bakar dan kesehatan lingkungan inilah yang mendasari banyak peneliti untuk mengembangkan teknologi lain salah satunya *fuel cell* (Haque *et al.*, 2019).

Fuel cell merupakan perangkat yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik secara terus-menerus selama bahan bakar dan oksidan tersedia (Fan *et al.*, 2021). Salah satu jenis *fuel cell* yaitu *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), dimana dikenal sebagai salah satu sistem yang paling menjanjikan dalam sistem sumber energi bersih karena tingkat emisinya 0%, suhu operasi yang rendah, pengaktifan cepat, dan efisiensi tinggi sebesar 60% (Yonoff *et al.*, 2019). PEMFC beroperasi dengan gas hidrogen di anoda dan oksigen di katoda untuk menghasilkan listrik dan panas dengan produk samping berupa air (Turtayeva *et al.*, 2022). PEMFC terdiri dari 2 *bipolar plates*, *gasket*, dan *membrane electrode assembly* (MEA) (Guaitolini & Fardin, 2018).

Bagian terpenting dari PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang terbentuk melalui penggabungan beberapa elemen, umumnya terdiri dari kertas karbon, lapisan katalis serta membran nafion, dan juga membran polimer (Lim *et al.*, 2021). MEA dapat dibuat dengan beberapa metode seperti metode sablon, *doctor blade*, *roll to roll*, *spray gun*, dan penyemprotan ultrasonik (Turtayeva *et al.*, 2022). *Spray gun* merupakan metode yang relatif sederhana dan ekonomis yang dapat menghasilkan lapisan tinta katalis yang cukup homogen (Arenas *et al.*, 2020). Katalis yang sering digunakan seperti platina (Pt), nikel (Ni), ruthenium (Ru), rubidium (Rb), palladium (Pd) (Haque *et al.*, 2019), emas (Au) (Hsieh *et al.*, 2013).

Katalis Pt/C sering digunakan pada PEMFC karena sangat efektif dan memiliki stabilitas kimia yang tinggi, serta kerapatan arus tukar dan fungsi kerja

yang tinggi (Majlan *et al.*, 2018). Namun, katalis Pt/C komersial memiliki biaya yang lebih mahal dibandingkan Pt/C yang disintesis (Kumar *et al.*, 2018). Katalis Pt/C dapat disintesis dengan beberapa metode seperti impregnasi, koloid, mikro-emulsi, *core-shell* (Singh *et al.*, 2014), dan sonokimia (Zheng *et al.*, 2019). Penelitian ini menggunakan metode sonokimia dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang terjadi di dalam larutan sehingga menghasilkan atom radikal (Zheng *et al.*, 2019). Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional seperti laju reaksi yang lebih tinggi, sintesis dapat dilakukan dalam cairan pada suhu ruangan, distribusi partikel dengan ukuran yang lebih seragam, dan prosedur yang lebih sederhana (Kumar *et al.*, 2018). Pada penelitian ini akan dilakukan uji kinerja MEA dengan menggunakan katalis Pt/C yang disintesis menggunakan metode sonokimia dan katalis Pt/C konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik elektroda dengan katalis Pt/C yang disintesis menggunakan metode sonokimia berdasarkan hasil analisis XRD, SEM, CV dan EIS?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju alir gas hidrogen terhadap kinerja MEA?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik elektroda dengan katalis Pt/C melalui analisis XRD, SEM, CV dan EIS.
2. Menentukan pengaruh variasi laju alir gas hidrogen terhadap kinerja MEA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi dalam upaya untuk mengembangkan teknologi *fuel cell* dalam hal peningkatan kinerja MEA serta memberikan informasi tentang sintesis katalis Pt/C dengan metode sonokimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Mohammed, A. (2019). Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX*, 77–85.
- Alderton, D. (2020). X-Ray Diffraction (XRD). *Encyclopedia of Geology: Volume 1-6, Second Edition*, 1, 520–531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00178-8>
- Arenas, L. F., Hadjigeorgiou, G., Jones, S., Van Dijk, N., Hodgson, D., Cruden, A., & Ponce de León, C. (2020). Effect of Airbrush Type on Sprayed Platinum and Platinum-Cobalt Catalyst Inks: Benchmarking as PEMFC and Performance in an Electrochemical Hydrogen Pump. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(51), 27392–27403. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.292>
- Arif Setyo Nugroho. (2022). Methanol-Gasoline Fuel Effectiveness Analysis Study. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 6(1), 157–163. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v6i1.849>
- Ban, F. Y., Majid, S. R., Huang, N. M., & Lim, H. N. (2012). Graphene Oxide and its Electrochemical Performance. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(5), 4345–4351. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)19543-5](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)19543-5)
- Bredar, A. R. C., Chown, A. L., Burton, A. R., & Farnum, B. H. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*, 3(1), 66–98. <https://doi.org/10.1021/acsaem.9b01965>
- Cao, Z. qian, Wu, M. zai, Hu, H. bo, Liang, G. jin, & Zhi, C. yi. (2018). Monodisperse Co₉S₈ Nanoparticles In Situ Embedded Within N, S-Codoped Honeycomb-Structured Porous Carbon for Bifunctional Oxygen Electrocatalyst in a Rechargeable Zn–Air Battery. *NPG Asia Materials*, 10(7), 670–684. <https://doi.org/10.1038/s41427-018-0063-0>
- Chen, G. Y., Wang, C., Lei, Y. J., Zhang, J., Mao, Z., Mao, Z. Q., Guo, J. W., Li, J., & Ouyang, M. (2017). Gradient Design of Pt/C Ratio and Nafion Content in Cathode Catalyst Layer of Pemfcs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(50), 29960–29965. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.229>
- Destyorini, F., Irmawati, Y., Widodo, H., Khaerudini, D. S., & Indayaningsih, N. (2018). Properties and Performance of Gas Diffusion Layer PEMFC Derived From Coconut Coir. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(3), 409–419. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.3.7>
- 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00361>

- Fan, L., Liu, Y., Luo, X., Tu, Z., & Chan, S. H. (2023). A Novel Gas Supply Configuration for Hydrogen Utilization Improvement in a Multi-Stack Air-Cooling PEMFC System with Dead-Ended Anode. *Energy*, 282(September), 129004. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129004>
- Fan, L., Tu, Z., & Chan, S. H. (2021). Recent Development of Hydrogen and Fuel Cell Technologies: A Review. *Energy Reports*, 7, 8421–8446. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.003>
- Glass, D. E., Galvan, V., Iullicci, M., & Prakash, G. K. S. (2022). Optimization of Platinum Loading on Partially Fluorinated Carbon Catalysts for Enhanced Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance. *Journal of Power Sources*, 542(June), 231725. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231725>
- Guaitolini, S. V. M., & Fardin, J. F. (2018). Fuel Cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features, and Applications. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, 2, 123–150. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813185-5.00013-9>
- Guo, H., Chen, L., Ismail, S. A., Jiang, L., Guo, S., Gu, J., Zhang, X., Li, Y., Zhu, Y., Zhang, Z., & Han, D. (2022). Gas Diffusion Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Materials*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/ma15248800>
- Hanifehpour, Y., Morsali, A., Mirtamizdoust, B., Joo, S. W., & Soltani, B. (2017). Thermolysis Synthesis of Pure Phase NiO from Novel Sonochemical Synthesized Ni(II) Nano Metal-Organic Supramolecular Architecture. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2017.02.003>
- Haq, M. A., Sulong, A. B., Majlan, E. H., Loh, K. S., Husaini, T., & Rosli, R. (2019). Oxygen Reduction Reaction Behaviours of Carbon Nanotubes Supporting Pt Catalyst for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(1), 147–154. <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2301-18>
- Hsieh, S. H., Hsu, M. C., Liu, W. L., & Chen, W. J. (2013). Study of Pt Catalyst on Graphene and its Application to Fuel Cell. *Applied Surface Science*, 277, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.04.029>
- Huang, J., Li, Z., Liaw, B. Y., & Zhang, J. (2016). Graphical Analysis of Electrochemical Impedance Spectroscopy Data in Bode and Nyquist Representations. *Journal of Power Sources*, 309, 82–98. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.01.073>
- Kumar, P. R., Suryawanshi, P. L., Gumfekar, S. P., Bhanvase, B. A., & Sonawane, S. (2018). Sonochemical Synthesis of Pt-Co/C Electrocatalyst for PEM Fuel Cell Applications. *Surfaces and Interfaces*, 12(February), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2018.04.002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.07.044>
- Liu, S., Hua, S., Lin, R., Wang, H., Cai, X., & Ji, W. (2022). Improving the Performance and Durability of Low Pt-Loaded Meas by Adjusting the Distribution Positions of Pt Particles in Cathode Catalyst Layer. *Energy*, *253*, 124201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124201>
- Liu, S., Lin, R., Tian, J., Wang, H., Jing, Y., & Lu, K. (2023). Morphology and Overpotential Analysis of Cathode Catalyst Layer with Different Ink Compositions In Low Pt-Loaded Membrane Electrode Assembly. *Journal of Power Sources*, *558*(January), 232603. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232603>
- Liu, S., Yuan, S., Liang, Y., Li, H., Xu, Z., Xu, Q., Yin, J., Shen, S., Yan, X., & Zhang, J. (2023). Engineering the Catalyst Layers Towards Enhanced Local Oxygen Transport of Low-Pt Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Materials, Designs, and Methods. *International Journal of Hydrogen Energy*, *48*(11), 4389–4417. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.249>
- Ma'fur, H., & Widiharsa, F. (2016). Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pengisi Baterai dengan Pengendali Panas. *Transmisi*, *12*(1), 45–54.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A. (2018). Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *89*(December 2017), 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>
- Mauger, S. A., Pfeilsticker, J. R., Wang, M., Medina, S., Yang-Neyerlin, A. C., Neyerlin, K. C., Stetson, C., Pylypenko, S., & Ulsh, M. (2020). Fabrication of High-Performance Gas-Diffusion-Electrode Based Membrane-Electrode Assemblies. *Journal of Power Sources*, *450*(December 2019), 227581. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227581>
- Niblett, D., Guo, Z., Holmes, S., Niasar, V., & Prosser, R. (2022). Utilization of 3D Printed Carbon Gas Diffusion Layers in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(55), 23393–23410. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.134>
- Onwudili, J. A., Razaq, I., & Simons, K. E. (2022). Optimisation of Propane Production from Hydrothermal Decarboxylation of Butyric Acid Using Pt/C Catalyst: Influence of Gaseous Reaction Atmospheres. *Energies*, *15*(1). <https://doi.org/10.3390/en15010268>
- Qussay, R., Mahmood, M., Al-Zaidi, M. K., Al-Khafaji, R. Q., Al-Zubaidy, D. K., & Salman, M. M. (2021). A Review: Fuel Cells Types and Their Applications. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, *7*, 2395–3470. www.ijseas.com

- Rahman, M. M., Inaba, K., Batnyagt, G., Saikawa, M., Kato, Y., Awata, R., Delgertsetsega, B., Kaneta, Y., Higashi, K., Uruga, T., Iwasawa, Y., Ui, K., & Takeguchi, T. (2021). Synthesis of Catalysts with Fine Platinum Particles Supported by High-Surface-Area Activated Carbons and Optimization of Their Catalytic Activities for Polymer Electrolyte Fuel Cells. *RSC Advances*, *11*(33), 20601–20611. <https://doi.org/10.1039/d1ra02156g>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.161>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. (2016a). Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, *1*(3), 61–66. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. (2016b). Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, *1*(3), 61–66. <http://ijfac.unsri.ac.id>
- Rohendi, D., 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.093>
- Ruiz-Camacho, B., Martínez Álvarez, O., Rodríguez-Santoyo, H. H., López-Peréz, P. A., & Fuentes-Ramírez, R. (2015). Mono and Bi-Metallic Electrocatalysts of Pt and Ag for Oxygen Reduction Reaction Synthesized by Sonication. *Electrochemistry Communications*, *61*, 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2015.09.023>
- Ruiz, N., Pierna, A. R., Barroso, J., & Sanchez, M. (2013). Low Pt Loading Amorphous Alloys Applied as Anodes and The Effect of Different Proton Exchange Membranes for PEMFCS. *International Journal of Hydrogen Energy*, *38*(36), 16269–16275. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.10.016>
- Sarfraz, A., Raza, A. H., Mirzaeian, M., Abbas, Q., & Raza, R. (2021). Electrode Materials for Fuel Cells. *Encyclopedia of Smart Materials*, 341–356. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11742-4>
- Sim, J., Kang, M., Oh, H., Lee, E., Jyoung, J. Y., & Min, K. (2022). The Effect of Gas Diffusion Layer on Electrochemical Effective Reaction Area of Catalyst Layer and Water Discharge Capability. *Renewable Energy*, *197*(April), 932–

942. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.096>

- Singh, R. N., Awasthi, R., & Sharma, C. S. (2014). Review: An Overview of Recent Development of Platinum-Based Cathode Materials for Direct Methanol Fuel Cells. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(10), 5607–5639. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)08193-2](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)08193-2)
- Siracusano, S., Trocino, S., Briguglio, N., Baglio, V., & Aricò, A. S. (2018). Electrochemical Impedance Spectroscopy as a Diagnostic Tool in Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis. *Materials*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/ma11081368>
- Sucipta, M., Sibarani, J., Gunawan, I. G. N. W., Putra, S. G. B., Robert, R. A., Kandou, S., & Sudarsana, P. B. (2023). Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Membrane Electrode Assembly Based on Platinum-Carbon Electrocatalyst with Activated Carbon-Chitosan-Nickel. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13(1), 354–358. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i1.13554.g8688>
- Sudarsono, W., Ying Tan, S., Yin Wong, W., Saiha Omar, F., Ramya, K., Mehmood, S., Numan, A., Walvekar, R., & Khalid, M. (2023). From Catalyst Structure Design to Electrode Fabrication of Platinum-free Electrocatalysts in Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 122, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.03.004>
- Turtayeva, Z., Xu, F., Dillet, J., Mozet, K., Peignier, R., Celzard, A., & Maranzana, G. (2022). Manufacturing Catalyst-Coated Membranes by Ultrasonic Spray Deposition for PEMFC: Identification of Key Parameters and Their Impact on PEMFC Performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(36), 16165–16178. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.043>
- Wang, W., Chen, S., Li, J., & Wang, W. (2015). Fabrication of Catalyst Coated Membrane with Screen Printing Method in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(13), 4649–4658. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.02.027>
- Wang, X., Liu, Y. T., Zhang, X. F., Song, H., & Wu, G. P. (2023). Effects of the Carbon Black Properties in Gas Diffusion Layer on the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(73), 28528–28538. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.056>
- Wang, Y., Ruiz Diaz, D. F., Chen, K. S., Wang, Z., & Adroher, X. C. (2020). Materials, Technological Status, and Fundamentals of PEM Fuel Cells – A Review. *Materials Today*, 32(xx), 178–203. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2019.06.005>
- Wang, Y., Xu, H., Zhang, Z., Li, H., & Wang, X. (2022). Lattice Boltzmann Simulation of a Gas Diffusion Layer With a Gradient Polytetrafluoroethylene Distribution for a Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Applied Energy*, 320(April), 119248. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119248>

- Xu, H., Jin, W., Wang, F., Liu, G., Li, C., Wang, J., Zhu, H., & Guo, Y. (2019). Formation and Characterization of Polytetrafluoroethylene Nanofiber Membranes for High-Efficiency Fine Particulate Filtration. *RSC Advances*, 9(24), 13631–13645. <https://doi.org/10.1039/c9ra01643k>
- Yonoff, R. E., Ochoa, G. V., Cardenas-Escorcía, Y., Silva-Ortega, J. I., & Meriño-Stand, L. (2019). Research Trends in Proton Exchange Membrane Fuel Cells During 2008–2018: A Bibliometric Analysis. *Heliyon*, 5(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01724>
- Yulianti, D. H., Rohendi, D., Syarif, N., & Rachmat, A. (2019). Performance Test of Membrane Electrode Assembly in DAFC using Mixed Methanol and Ethanol Fuel with Various Volume Comparison. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 4(3), 139–142. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v4.i3.139>
- Zheng, H., Matseke, M. S., & Munonde, T. S. (2019). The Unique Pd@Pt/C Core-Shell Nanoparticles as Methanol-Tolerant Catalysts using Sonochemical Synthesis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 57(May), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.023>
- Zhu, D., Yang, Y., Pei, F., & Ma, T. (2022). High-Precision Identification of Polarization Processes of Distribution of Relaxation Times by Polarization Curve Model for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Energy Conversion and Management*, 268(April), 115994. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115994>