

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA DENGAN  
KATALIS Pt-Co/C SERTA UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE  
ASSEMBLY* PADA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*  
(PEMFC)**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**ANINDITA ZAHARA**

**08031281823029**

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

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA DENGAN  
KATALIS Pt-Co/C SERTA UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE  
ASSEMBLY* PADA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*  
(PEMFC)**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**ANINDITA ZAHARA**

**08031281823029**

Indralaya, 26 Juli 2022

**Pembimbing**



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

**NIP. 196704191993031001**

**Mengetahui,  
Dekan Fakultas MIPA**



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

**NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda dengan Katalis Pt-Co/C serta Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Juli 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 26 Juli 2022

Pembimbing:

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


NIP. 196704191993031001

(  )

Penguji:

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

NIP. 197202052000032001

(  )

2. **Prof. Dr. Elfita, M.Si**

NIP. 196903261994122001

(  )

Mengetahui,

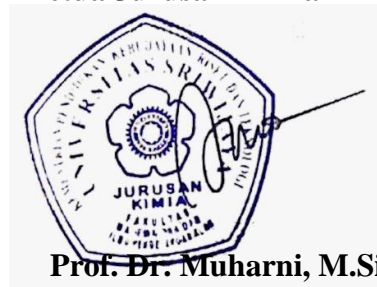
**Dekan Fakultas MIPA**



**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 dibawah ini :

Nama mahasiswa : Anindita Zahara  
NIM : 08031281823029  
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-1 (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, 26 Juli 2022

Penulis



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

Sebagai civitas akademis Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Anindita Zahara

NIM : 08031281823029

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengeahuan, Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya (hak bebas royalty non-eksklusive (*non-exclusively royalty-free right*)) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda dengan Katalis Pt-Co/C serta Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusive ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 26 Juli 2022

Yang menyatakan



Anindita Zahara

NIM. 08031281823029

## LEMBAR PERSEMBAHAN

*“.....Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”*

**(QS. Al-Baqarah: 216)**

“Kegagalan ada bukan untuk ditakuti tetapi untuk dipelajari. Tidak masalah seberapa lambat kau berjalan asalkan kau tidak berhenti karna kepercayaan akan mengarah pada pencapaian”

*“....Janganlah kamu berduka cita sesungguhnya Allah selalu bersama kita”*

**(QS. At-Taubah: 40)**

Untuk Kedua Orangtua dan Saudara/Saudari ku  
Sahabat-Sahabat ku  
Alamamater ku,  
Skripsi ini ku persembahkan untuk kalian

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas ridho dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: “Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda dengan Katalis Pt-Co/C serta Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Sholawat beserta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang yang penuh akan ilmu pengetahuan. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengeahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini tanpa bimbingan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ini mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Diriku sendiri, Anindita Zahara. Terimakasih sudah bertahan dan percaya pada diri sendiri setelah banyaknya ekspektasi-ekspektasi yang tidak sesuai dengan realita. Terimakasih untuk tidak menyerah pada keadaan dan tetap berjuang meskipun penuh air mata. Terimakasih, kamu hebat. Mari lanjutkan perjalanan untuk mimpi yang lebih besar!
2. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya dan Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku pembimbing satu-satunya yang telah sabar dan telah banyak memberikan bimbingan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih sebanyak-banyaknya untuk Bapak, semoga kebaikan dan kesabaran Bapak dibalas oleh Allah SWT.
4. Ibu Fahma Riyanti, M.Si dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si selaku dosen pembahas yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak membantu memberikan arahan dan masukan kepada penulis dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
6. Kak Iin dan Mba Novi yang telah banyak membantu penulis dalam proses administrasi serta semua dosen dan karyawan jurusan Kimia FMIPA yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih untuk ilmu dan bantuannya selama ini.
7. Kedua orangtua penulis, Papa dan Mama yang selalu ada disisi penulis memberikan doa, semangat, serta dukungan dalam bentuk materi maupun non materi. Terimakasih untuk semua yang telah diberikan kepada penulis, untuk kepercayaan, didikan dan pelajaran hidup yang membuat penulis menjadi pribadi seperti saat ini. I'm so grateful to have you both.
8. Jonsuar Family. Kak Windy, Abang Edho, dan Abang Iqra, terimakasih untuk segala nasihat-nasihatnya yang sangat berarti hingga adik mu yang bontot ini dapat bertahan dan menyelesaikan perkuliahannya. Si kecil Maryam dengan segala tingkah lucunya, terimakasih sudah menjadi penghibur dikala penulis merasa jenuh. Terimakasih semuanya untuk kasih dan sayang yang telah diberikan kepada penulis.
9. Sepupu-sepupuku. Mba Pia dan Jeihan yang selalu bersedia mendengarkan keluh kesah penulis meskipun kita banyak berantemnya tapi dibalik itu terimakasih untuk segala bentuk kepeduliannya. Semangat untuk kita yang baru beranjak dewasa semoga kita selalu bisa survive dalam setiap keadaan.
10. Dinda Saphira Adisty, orang yang selalu penulis hubungi disaat penulis merasa lelah, sedih dan kesulitan. Terimakasih untuk segala nasihat-nasihat menasuknya yang membuat pikiran penulis menjadi lebih terbuka dan lebih kuat dalam menghadapi realita kehidupan. Terimakasih sudah selalu ada disisi penulis, maaf jika selama ini penulis terlalu banyak merepotkan :)
11. Pamela Puspa Pane, My Human Diary since JHS dari yang awalnya kemana-mana selalu bareng hingga saat ini kita terpisahkan oleh jarak. Terimakasih untuk segala bentuk hiburan, dukungan, dan kepeduliannya selama ini kepada



penulis. Terimakasih juga untuk positive vibes nya yang membuat penulis semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

12. Sahabat-sahabat SMP (Cema, Dinda Suci, Nanat, Jasmin, Annisa, Bima, Gio, Ayit, Anggoro, Aqil, Aji, Atta, Ridho) dan sahabat-sahabat SMA (Letak, Caca, Tria, Afifa), kalian semua orang-orang menyenangkan yang berada disekeliling penulis yang menjadi tempat penulis untuk menghabiskan waktu dikala penulis down dan mengalami kejenuhan selama penulisan skripsi. Terimakasih untuk canda tawanya semoga persahabatan ini tetap terjalin hingga kita tua nanti.
13. Kak Indik dan Ditak, dua orang yang penulis kenal dari awal masuk dunia perkuliahan hingga akhirnya kita dapat mengenal lebih dekat. Terimakasih untuk kesan-kesan menyenangkan selama kita ngekost yang membuat penulis merasa mempunyai sosok kakak dan saudara perempuan diperantauan ini.
14. Devi Indah Chairani, partner penulis dalam mengerjakan tugas akhir. Penulis hanya ingin mengucapkan banyak-banyak terimakasih atas semua bantuannya selama ini, terimakasih telah memback-up penulis dalam setiap keadaan, terimakasih telah meyakinkan penulis untuk tetap terus melangkah setelah banyaknya rintangan-rintangan yang kita hadapi dalam mengerjakan penelitian ini. Sukses selalu untuk kita berdua.
15. Team PUR. Kak Dwi selaku mentor yang selalu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis. Kak Reka dan Kak Icha yang juga memiliki peran yang besar selama penelitian ini, terimakasih kakak-kakak atas segala ilmu dan pelajaran hidup yang telah kalian diberikan kepada penulis.
16. Team PUR 18 Kloter 1 (Igam, Fatma, Christy, Sabrina, Ade Dwi, Balqis, Sandi, Delima, Marya, Irma, Ilyas, Kak Resti), orang-orang baik yang bersedia menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis mengenai penelitian terutama igam yang sering penulis chat pagi-pagi maupun tengah malam. Terimakasih untuk bantuannya.
17. Team PUR 18 Kloter 2 (Ade marisa, Nikea, Adinda, Iren Martha, Zakiatun, Ghifar, Eko, Prima, Tejak), orang-orang hebat yang sebentar lagi S.Si yang selalu menghibur dan memberikan semangat kepada penulis saat berada di

lab. Terimakasih sudah bersedia direpotkan oleh penulis dalam setiap keadaan terutama Tejak, Prima, dan Eko.

18. Grup Terselubung (Tatak, Nurul, Mita, Kak Ifa, Ariqah, Metha, Dwi Putri, Restri, Indarti, Tiur, Obi, Afif, Ikki), orang-orang yang sangat berjasa selama penulis mengemban pendidikan dibangku perkuliahan yang selalu bersedia mengajari penulis dikala penulis merasa kesulitan dalam memahami pelajaran. Untuk Tatak dan Nurul, terimakasih banyak sudah membantu dan mengingatkan penulis dalam menyelesaikan tugas perkuliahan, maaf jika penulis sering merepotkan kalian dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan. Terimakasih untuk kebaikan kalian semua, semoga kita menjadi orang-orang yang sukses nantinya.
19. Teman-temanku diluar Jurusan Kimia (Sitik, Jihan, Andre, Adzim, Kak Aldi), yang selalu bersedia mendengarkan cerita hidup penulis dan menemani penulis dikala gabut dan butuh hiburan, terimakasih telah menjadikan penulis bagian dari kalian.
20. Untuk teman-teman Angkatan 2018 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih untuk segala hal yang pernah kita lewati, senang bisa mengenal kalian.

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 memberikan manfaat dan informasi kepada orang-orang yang membutuhkan.

Palembang, 26 Juli 2022

Penulis

## SUMMARY

### MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF ELECTRODE WITH Pt-Co/C CATALYST AND PERFORMANCE TEST OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Anindita Zahara : supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T  
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University  
xviii+65 pages, 6 tables, 8 pictures, 7 appendix

The manufacture and characterization of electrodes with Pt-Co/C catalysts as well as performance tests of the Membrane Electrode Assembly (MEA) on the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) have been carried out. Pt-Co/C catalyst was made with various mass variations of Pt to Co by impregnation method. Each Pt-Co/C catalyst with variation/mass ratio Pt:Co = 1:0; 0.75:0.25; 0.50:0.50; 0.25:0.75; 0:1 was made to be electrodes using a loading of 0.5 mg/cm<sup>2</sup> and electrode area of 1 cm × 3 cm for electrode characterization and 5 cm × 5 cm for the manufacturing of MEA. Pt-Co/C electrodes were characterized using *Cyclic Voltammetry (CV)*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*, *Linear Sweep Voltammetry (LSV)*, and *X-Ray Diffraction (XRD)* methods. The electrode with Pt:Co = 0.75:0.25 alloy showed the best catalytic activity and the ability to conduct electricity after Pt electrode without alloy and Co without alloy with ECSA value of 640,286 cm<sup>2</sup>/g and conductivity value of 2,246 x 10<sup>-2</sup> S/cm and the peak current on the LSV curve was 0.0173 A. The results of XRD characterization showed that the procedure carried out was in accordance with the emergence of peak for platinum at 2θ = 43.58° and 42.42° and for cobalt at 2θ = 54.76° and 54.9°. The Manufacturing of MEA utilized Pt-Co/C electrodes with the best alloys. MEA was made by combining Pt-Co/C electrodes and Pt/C electrodes on both sides of the Nafion-212 membrane which functioned as anode and cathode. MEA performance testing based on the cell potential value before being given a load gained an OCV (*Open Circuit Voltage*) value of 0.735 V.

Keywords : Pt-Co/C, PEMFC, Electrode characterization, OCV

Citation : 75 (2010-2022)

## RINGKASAN

### PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA DENGAN KATALIS Pt-Co/C SERTA UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* PADA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)

Anindita Zahara : dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T  
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xviii+65 halaman, 6 tabel, 8 gambar, 7 lampiran

Pembuatan dan karakterisasi elektroda dengan katalis Pt-Co/C serta uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) telah dilakukan. Katalis Pt-Co/C dibuat dengan berbagai variasi massa Pt terhadap Co melalui metode impregnasi. Katalis Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co = 1:0; 0,75:0,25; 0,50:0,50; 0,25:0,75; 0:1 masing-masing dibuat elektroda menggunakan loading 0,5 mg/cm<sup>2</sup> dengan luas elektroda 1 cm × 3 cm untuk karakterisasi elektroda dan 5 cm × 5 cm untuk pembuatan MEA. Elektroda Pt-Co/C dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *Linear Sweep Voltammetry* (LSV), dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Elektroda dengan paduan Pt:Co = 0,75:0,25 menunjukkan aktivitas katalitik dan kemampuan menghantarkan listrik paling baik setelah elektroda Pt tanpa paduan maupun Co tanpa paduan dengan nilai ECSA sebesar 640,286 cm<sup>2</sup>/g dan konduktivitas sebesar 2,246 x 10<sup>-2</sup> S/cm serta puncak arus pada kurva LSV sebesar 0,0173 A. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan prosedur yang dilakukan telah sesuai dengan timbulnya puncak untuk platina pada 2θ = 43,58° dan 42,42° dan kobalt pada 2θ = 54,76° dan 54,9°. Pembuatan MEA memanfaatkan elektroda Pt-Co/C dengan paduan terbaik. MEA dibuat dengan menggabungkan elektroda Pt-Co/C dan elektroda Pt/C pada kedua sisi membran nafion-212 yang difungsikan sebagai anoda dan katoda. Pengujian kinerja MEA berdasarkan nilai potensial sel sebelum diberi beban mendapatkan nilai OCV (*Open Circuit Voltage*) sebesar 0,735 V.

Kata kunci : Pt-Co/C, PEMFC, Karakterisasi elektroda, OCV  
Sitasi : 75 (2010-2022)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	3
1.3 Tujuan penelitian .....	3
1.4 Manfaat penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 <i>Fuel Cell</i> .....	4
2.2 Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i> .....	4
2.3 PEMFC ( <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> ) .....	5
2.4 Komponen Penyusun PEMFC .....	6
2.4.1 MEA ( <i>Membrane Electrode Assembly</i> ) .....	6
2.4.1.1 Membran Nafion .....	7
2.4.1.2 Elektroda .....	8
2.4.1.2.1 <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	8
2.4.1.2.2 <i>Catalyst layer</i> (CL).....	8
2.4.2 Gasket.....	9
2.4.3 Pelat Bipolar.....	9
2.4.4 <i>End Plate</i> .....	10

2.5	Katalis .....	10
2.6	Metode Impregnasi .....	11
2.7	Karakteristik Elektroda .....	11
2.7.1	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	11
2.7.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	12
2.7.3	<i>Linear Sweep Voltammetry (LSV)</i> .....	12
2.7.4	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	12
2.8	Uji Kinerja MEA ( <i>Open Circuit Voltage</i> ) .....	13
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>14</b>
3.1	Waktu dan Tempat.....	14
3.2	Alat dan Bahan.....	14
3.2.1	Alat.....	14
3.2.2	Bahan .....	14
3.3	Prosedur Penelitian .....	14
3.3.1	Pembuatan Katalis Pt-Co/C .....	14
3.3.2	Pembuatan Elektroda .....	15
3.3.3	Karakterisasi Elektroda Pt-Co/C.....	16
3.3.3.1	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	16
3.3.3.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	16
3.3.3.3	<i>Linear Sweep Voltammetry (LSV)</i> .....	16
3.3.3.4	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	16
3.3.4	Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i> .....	17
3.3.5	Uji Kinerja MEA.....	17
3.3.6	Analisis Data .....	17
3.3.6.1	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	17
3.3.6.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	18
3.3.6.3	<i>Linear Sweep Voltammetry (LSV)</i> .....	19
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>		<b>20</b>
4.1	Pembuatan Katalis dengan Metode Impregnasi dan Reduksi serta Karakterisasi Elektroda Pt-Co/C.....	20
4.1.1	Karakterisasi Elektroda menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	22
4.1.2	Karakterisasi Elektroda menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	25

4.1.3	Karakterisasi Elektroda menggunakan Metode <i>Linear Sweep Voltammetry</i> (LSV).....	27
4.1.4	Karakterisasi Elektroda menggunakan Metode <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
4.1.5	Uji Kinerja MEA.....	30
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>32</b>
5.1	Kesimpulan .....	32
5.2	Saran .....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Kerja Fuel Cell .....	5
Gambar 2. Struktur PEMFC.....	6
Gambar 3. Elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co (a) 1:0, (b) 0,75:0,25; (c) 0,5:0,5; (d) 0,25:0,75 dan (e) 0:1 .....	21
Gambar 4. Kurva voltammogram elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co (a) 1:0, (b) 0,75:0,25; (c) 0,5:0,5; (d) 0,25:0,75 dan (e) 0:1 .....	23
Gambar 5. Kurva <i>Nyquist</i> elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co (a) 1:0, (b) 0,75:0,25; (c) 0,5:0,5; (d) 0,25:0,75 dan (e) 0:1 .....	26
Gambar 6. Kurva LSV elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co (a) 1:0, (b) 0,75:0,25; (c) 0,5:0,5; (d) 0,25:0,75 dan (e) 0:1 .....	29
Gambar 7. Difraktogram elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co 1:0; 0,75:0,25 dan 0:1 .....	30
Gambar 8. Nilai OCV elektroda Pt-Co/C dengan variasi/rasio massa Pt:Co 0,75:0,25.....	31



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan Massa Pt dan Co pada Pt-Co/C .....	15
Tabel 2. Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) .....	18
Tabel 3. Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	19
Tabel 4. Analisis <i>Linear Sweep Voltammetry</i> (LSV).....	19
Tabel 5. Nilai ECSA elektroda Pt-Co/C .....	24
Tabel 6. Nilai konduktivitas listrik elektroda Pt-Co/C.....	26

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja .....	41
Lampiran 2. Perbandingan Massa Pt dan Co pada Pt-Co/C. ....	45
Lampiran 3. Diagram Voltammogram dan Perhitungan Nilai ECSA.....	46
Lampiran 4. Karakterisasi EIS dan Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik.....	56
Lampiran 5. Data LSV .....	61
Lampiran 6. Data OCV .....	62
Lampiran 7. Gambar Alat Penelitian .....	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Manusia cenderung memanfaatkan energi dalam setiap aktivitasnya sehingga secara tidak langsung energi memiliki keterkaitan dengan perekonomian di suatu negara, sebab kenaikan konsumsi energi membuat pertumbuhan ekonomi meningkat. Penyumbang energi terbesar saat ini ialah bahan bakar fosil (Setiawan dkk, 2019). Bahan bakar fosil diketahui sebagai salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dengan jumlah yang terbatas, jika dibiarkan terus menerus tentunya akan menyebabkan krisis energi. Oleh sebab itu diperlukan sumber energi alternatif agar kebutuhan manusia terhadap bahan bakar akan selalu terpenuhi. Salah satu energi alternatif yang menarik perhatian dalam beberapa tahun terakhir ialah *fuel cell* karena sifatnya yang ramah lingkungan. *Fuel cell* bekerja secara langsung mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen (Seo and Lee, 2013).

Salah satu jenis *fuel cell* yang terkernak ramah lingkungan ialah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar dimana hidrogen tersebut dioksidasi pada anoda dan oksigen direduksi pada katoda (Postole and Auroux, 2011). *Membrane Electrode Assembly* (MEA) merupakan salah satu komponen terpenting dalam PEMFC. MEA berperan sebagai tempat terjadinya proses elektrokimia dan manajemen air (Park *et al.*, 2012). Peran MEA yang sangat penting tersebut membuat para peneliti harus memperhatikan komponen yang dapat mempengaruhi kinerja MEA, salah satu komponen yang dapat mempengaruhi kinerja MEA ialah katalis. Hingga saat ini penelitian mengenai kandungan, jenis dan metode pembuatan katalis masih menjadi perhatian khusus dalam mencapai kerapatan arus dan daya tahan yang tinggi (Rohendi *et al.*, 2013).

Katalis yang biasanya digunakan untuk reaksi anoda dan katoda dalam PEMFC adalah platina (Pt). Nanopartikel Pt yang didukung pada karbon (Pt/C)

dimanfaatkan sebagai elektrokatalis katoda untuk reaksi reduksi oksigen, sedangkan nanopartikel paduan berbasis Pt dimanfaatkan sebagai elektrokatalis anoda untuk reaksi oksidasi bahan bakar, seperti reaksi oksidasi hidrogen, metanol, dan lain-lainnya (Sharma *and* Andersen, 2021). Pt merupakan katalis utama yang dapat bekerja dengan baik dalam mengubah gas hidrogen dan oksigen menjadi listrik dan air, namun Pt termasuk salah satu logam yang mahal dan terbatas (Chaisubanan *et al.*, 2019). Alasan tersebut membuat para peneliti melakukan pengembangan katalis paduan atau komposit dengan kombinasi biner, terner, dan kuartener yang melibatkan kelompok logam Pt dan logam transisi lainnya untuk mencapai kinerja yang tinggi dengan beban Pt rendah (Singh *and* Datta, 2021). Salah satu logam transisi yang cocok dipadukan dengan Pt adalah kobalt (Co).

Aktivitas katalitik dan kinerja sel dapat dianalisis melalui *Linear Sweep Voltammetry* (LSV) dan *Cyclic Voltammetry* (CV). LSV digunakan untuk memperkirakan reaksi reduksi oksigen menggunakan galvanostat ataupun potentiostat, sedangkan CV digunakan untuk memperkirakan aktivitas katalitik elektroda dengan galvanostat/potensiostat (Ting *et al.*, 2012). Kumar *et al.*, (2018), telah melakukan LSV pada penelitiannya dan menunjukkan bahwa penggabungan Pt dengan Co efektif untuk menurunkan hambatan kinetik dan memberikan aktivitas katalitik yang tinggi untuk sel bahan bakar. Selain itu, Pt-Co/C diketahui sebagai paduan elektrokatalis yang paling baik untuk PEMFC diantara berbagai elektrokatalis paduan Pt lain karena aktivitas dan stabilitasnya yang tinggi dalam suasana asam. Sisi lain dari penggunaan Co yang menguntungkan sebagai paduan Pt, Co memiliki kelemahan yang dapat menghambat kinerja sel dimana Co cenderung larut selama proses elektrokimia yang berdampak negatif pada konduktivitas membran dan menurunnya kinerja katalis dalam operasi PEMFC (Tang *et al.*, 2019).

Pembuatan katalis dari bahan baku hingga menjadi sebuah katalis dikenal dengan preparasi katalis. Preparasi katalis dilakukan untuk mendistribusikan logam aktif katalis ke permukaan penyangga dengan cara yang tepat. Preparasi katalis dapat mempengaruhi karakteristik katalis seperti aktivitas, selektivitas, dan

stabilitas katalis (Mundriyastutik dkk, 2016). Adapun metode preparasi katalis terbagi menjadi metode impregnasi, metode pertukaran ion, metode ko-presipitasi, dan metode deposisi. Salah satu metode preparasi katalis yang paling banyak digunakan adalah metode impregnasi seperti yang akan dilakukan pada penelitian ini. Alasan digunakannya metode impregnasi dalam penelitian ini ialah karena prosesnya yang sederhana, peluang keberhasilannya yang besar, serta limbah yang dihasilkan sedikit (Permana dkk, 2020).

### **1.2 Rumusan masalah**

1. Bagaimana cara mensintesis katalis Pt-Co/C menggunakan metode impregnasi dan reduksi?
2. Bagaimana pengaruh katalis Pt-Co/C dengan variasi massa Pt:Co terhadap aktivitas katalitik dan konduktivitas elektrik elektroda?
3. Bagaimana kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada komposisi paduan Pt:Co berdasarkan nilai potensial sel sebelum diberi beban?

### **1.3 Tujuan penelitian**

1. Mensintesis katalis Pt-Co/C dengan metode impregnasi dan reduksi dan melakukan karakterisasi untuk menentukan pengaruh katalis Pt-Co/C dengan massa Pt:Co yang bervariasi terhadap aktivitas katalitik dan konduktivitas elektrik elektroda.
2. Menentukan uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada komposisi paduan Pt:Co terbaik berdasarkan nilai potensial sel sebelum diberi beban (kondisi OCV).

### **1.4 Manfaat penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk mencapai kinerja MEA yang tinggi dari penggunaan platina yang dipadukan dengan kobalt sebagai katalis untuk PEMFC. Selain itu, paduan platina dan kobalt ini diharapkan dapat mengurangi biaya produksi menjadi lebih ekonomis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aderyani, S., Flouda, P., Shah, S. A., Green, M. J., Lutkenhaus, J. L., and Ardebili, H. 2021. Simulation of Cyclic Voltammetry in Structural Supercapacitors With Pseudocapacitance Behavior. *Electrochimica Acta*. 390(1) : 1-9.
- Antxustegi, M. M., Pierna, A. R., and Ruiz, N. 2014. Chemical Activation of Vulcan XC72R to be Used as Support for NiNbPtRu Catalysts in PEM Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39(1) : 3978-3983.
- Baik, K. D., Kim, S. I., Hong, B. K., Han, K., and Kim, M. S. 2011. Effects of Gas Diffusion Layer Structure on the Open Circuit Voltage and Hydrogen Crossover of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(1) : 9916-9925.
- Barbosa, R., Escobar, B., Cano, U., Ortegon, J., Sanchez, V. M. 2016. Multiscale Relationship of Electronic and Ionic Conduction Efficiency in a PEMFC Catalyst Layer. *International Journal of Hydrogen Energy*. 30(1) : 1-9.
- Basuli, U et al. 2012. Properties and Degradation of the Gasket Component of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell – A Review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 12(10) : 7641-7657.
- Bredar , A. R. C., Chown, A. L., Burton, A. R., and Farnum, B. H. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials* 3(1): 66–98.
- Brkovic, S. M., Nikolic, V. M., Kaninski, M. P. M., and Pasti, I. A. 2019. Pt/C Catalyst Impregnated with Tungsten-Oxide – Hydrogen Oxidation Reaction vs. CO Tolerance. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44 (26) : 13364-13372.
- Busono, P., Febryarto, R., dan Mayantasasi, M. 2018. Rancang Bangun Potentiostat Ekonomis Berbasis Mikrokontroler untuk Aplikasi Sensor Elektrokimia. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 12(1) : 1-8.
- Cai, Z., Li, L., Su, L., and Zhang, Y. 2012. Supercritical Carbon Dioxide Treated Nafion 212 Commercial Membranes for Direct Methanol Fuel Cell. *Electrochemistry Communications*. 14(1) : 9-12.
- Chaisubanan, N et al. 2019. Insight into the Alternative Metal Oxide Modified Carbon-Supported PtCo for Oxygen Reduction Reaction in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Renewable Energy*. 139(1) : 679.
- Charradi, K et al. 2019. Amelioration of PEMFC Performance at High

- Temperature by Incorporation of Nanofiller (Sepiolite/Layered Double Hydroxide) in Nafion Membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44(1) : 10666-10676.
- Chen, Q., Zhang, G., Zhang, X., Sun, C., Jiao, K., and Wang, Y. 2021. Thermal Management of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell: A Review of Cooling Methods, Material Properties, and Durability. *Applied Energy*. 286(1) : 1-19.
- Chung, S., Ham, K., Kang, S., Ju, H., and Lee, J. 2020. Enhanced Corrosion Tolerance and Highly Durable ORR Activity by Low Pt Electrocatalyst on Unique Pore Structured CNF in PEM Fuel Cell. *Electrochimica Acta*. 348 (1) : 1-9.
- Dao, D. V., Adilbish, G., Lee, I. H., and Yu, Y. T. 2019. Enchanted Electrocatalytic Property of Pt/C Electrode with Double Catalyst Layers for PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44 (45) : 24580-24590.
- Fan, L., Zhao, J., Luo, X., and Tu, Z. 2022. Comparison of the Performance and Degradation Mechanism of PEMFC with Pt/C and Pt Black Catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*. 47(8) : 5418-5428.
- Firdaus, L. H., Wicaksono, A. R., dan Widayat, Dr. 2013. Pembuatan Katalis H-Zeloit dengan Impregnasi KI/KIO<sub>3</sub> dan Uji Kinerja Katalis untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2(2) : 148-154.
- Gerteisen, D., Zamel, N., Sadeler, C., Geiger, F., Ludwig, V., and Hebling, C. 2012. Effect of Operating Conditions on Current Density Distribution and High Frequency Resistance in a Segmented PEM Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(9) : 7736-7744.
- Gilois, B., Goujon, F., Fleury, A., Soldera, A., and Ghoufi, A. 2020. Water Nano-Diffusion Through the Nafion Fuel Cell Membrane. *Journal of Membrane Science*. 602(1) : 1-11.
- Hsu, S. P et al., 2013. The Effect of Mn Addition on the Promotion of Oxygen Reduction Reaction Performance for PtCo/C Catalysts. *Electrochimica Acta*. 105 (1) : 180-187.
- Huang, J., Li, Zhe., Liaw, B. Y., and Zhang, J. 2016. Graphical Analysis of Electrochemical Impedance Spectroscopy Data in Bode and Nyquist Respresentations. *Journal of Power Sources*. 309 (1) : 82-98.
- Inal, O. B., and Deniz, C. 2020. Assessment of Fuel Cell Types for Ships : Based on Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of Cleaner Production*. 265(1) : 1-10.

- Karim, Z. A. A et al. 2020. The Characteristics of Water-in-biodiesel Emulsions Produced Using Ultrasonic Homogenizer. *Alexandria Engineering Journal*. 59(1) : 227-237.
- Kil, S., Ozdemir, O. K., Insel, M. A., and Sadikoglu, H. 2021. Computational Modeling and Experimental Verification of Cathode Catalyst Layer on PEM Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1 (1). 1-6.
- Kim, M., Lim, J. W., Kim, K. H., and Lee, D. G. 2014. Ultra High Speed Curing Bipolar Plates Made of Carbon Fabric/Phenolic Composite Using Acid Catalyst for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Composite Structure*. 108(1) : 1-8.
- Kumar, P. R., Suryawanshi, P. L., Gumfekar, S. P., Bhanvase, B. A., and Sonawane, S. 2018. Sonochemical Synthesis of Pt-Co/C Electrocatalyst for PEM Fuel Cell Applications. *Surfaces and Interfaces*. 1(1) : 116-123.
- Leontyev, I et al. 2010. XRD and Electrochemical investigation of Particles Size Effects in Platinum-Cobalt Cathode Electrocatalysts for Oxygen Reduction. *Journal of Alloys and Compounds*. 500(2): 241-246.
- Lin, R., Cao, C., Zhang, H., Huang, H., dan Ma, J. 2012. Electro-Catalytic Activity Of Enhanced CO Tolerant Cerium-Promoted Pt/C Catalyst For PEM Fuel Cell Anode. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(5) : 4648-4656.
- Li, Y., and Janik, M. J. 2019. Recent Progress on First-principles Simulations of Voltammograms. *Current Opinion in Electrochemistry*. 14(1) :124-131.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., and Haque, M. A. 2018. Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89(1) : 117-134.
- Marcelina, Y. 2018. Karakterisasi Elektroda Pt-Co/C yang dibuat dengan Metode Semburan dan Uji Kinerjanya menggunakan Rakitan Elektroda Membran (MEA) pada PEMFC. *Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya*.
- Mohammed, H., Othman, A. AL., Nancarrow, P., Tawalbeh, M., and Assad, M. E. H. 2019. Direct Hydrocarbon Fuel Cells: A Promising Technology for Improving Energy Efficiency. *Energy*. 172(1) : 2017-129.
- Moya, A. A., and Sstat, P. 2018. Reaching the Limiting Current Regime by Linear Sweep Voltammetry in Ion-Exchange Membrane Systems. *Journal of Membrane Science*. 555(1) : 134-145.
- Mundriyastutik, Y., Anggoro, D. D., dan Hidayati, N. 2016. Preparasi dan Karakterisasi Como/Zeolit Y dengan Metode Pertukaran Ion. *Indonesia Jurnal Farmasi*. 1(1) : 28-32.



- Nagy, K. A et al. 2020. Wetting and Evaporation on a Carbon Cloth Type Gas Diffusion Layer for Passive Direct Alcohol Fuel Cells. *Journal of Molecular Liquids*. 304 (1) : 1-7.
- Nishimura, Y. F., Oka, H., Nonaka, T., Makimura, Y., and Dohmae, K. 2019. Hard X-Ray Spectroscopic Methods Using Emitted X-Ray to Understand Charge Compensation in Positive Electrode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Journal of Power Sources*. 434(1) : 1-8.
- Nursyafitri, D. 2021. Pembuatan dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pd-Ni/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya*.
- Ogungbemi, E et al. 2019. Fuel Cell Membranes – Pros and Cons. *Energy*. 172(1): 155-172.
- Ong, B. C., Kamarudin, S. K., Masdar, M. S., and Hasran, U. A. 2016. 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.
- Ovejas, V., and Cuadras, A. 2019. State of Charge Dependency of the Overvoltage Generated in Commercial Li-ion cells. *Journal of Power Source*. 418(1): 176-185.
- Park, S., Lee, J. W., and Popov, B. N. 2012. A Review of Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cell : Materials and Designs. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7) : 5850-5865.
- Pasaribu, R. B. 2021. Pembuatan dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pd-Co/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya*.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S.D.S., dan Yanti, F. M. 2020. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO Dengan *Support* Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan ZnCl<sub>2</sub>. *Jurnal Teknologi*. 13(1) : 6-15.
- Postole, G., and Auroux, A. 2011. The Poisoning Level of Pt/C Catalyst Used in PEM Fuel Cell by The Hydrogen Feed Gas Impurities : The Bonding Strenght. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36 (1) : 6817.
- Pramono, A., dan Zulfia, A. 2012. Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell. *Jurnal Ilmiah Setrum*. 1(1) : 46-49.

- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., dan Sofyan, S. 2018. Penggunaan Katalis Homogen dan Heterogen pada Proses Hidrolisis Pati Umbi Singkong Karet menjadi Glukosa. *Jurnal Litbang Industri*. 8(2) : 105-110.
- Rahman, M et al. 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 Cell. *RSC Advance*. 11(33): 20601-20611.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., and 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.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A.B., Shyuan, L.K., and Raharjo, J. 2016. 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(1) : 62.
- Rohendi, D., Rachmat, A., and Syarif, N. 2018. Fabrication and Characterization of Pt-Co/C Catalyst for Fuel Cell Electrode. *Journal of Physics : Conference Series*. 1095 (1) : 1-5.
- Safitri, I. A., Rudiyanto, B., Nursalim, A., dan Hariono, B. 2016. Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 1(1) : 12-13.
- Samad, S et al. 2018. Carbon and Non-Carbon Support Materials for Platinum-Based Catalysts in Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(1) : 7823- 7854.
- Seo, S. H., and Lee, C. K. 2013. Effects of Dimethyl Ether on The Performance Characteristics of a Direct Methanol Fuel Cell. *Energy Conversion and Management*. 70(1) : 239.
- Setiawan, A., Tua, D. P., dan Husin, M. K. E. 2019. Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar Fosil Terhadap Produk Domestik Bruto Indonesia dan Hubungan Timbal Balik Di Antara Keduanya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batu Bara*. 15(3) : 213-223.
- Sharma, R., and Andersen, S. M. 2021. Circular Use of Pt/C Through Pt Dissolution from Spent PEMFC Cathode and Direct Reproduction of New Catalyst with Microwave Synthesis. *Materials Chemistry and Physics*. 265(1) : 2.

- Sharma, R., Gyergyek, S., and Andersen, S. M. 2022. Critical Thinking on Baseline Corrections for Electrochemical Surface Area (ECSA) Determination of Pt/C Through H-adsorption / H-desorption Regions of a Cyclic Voltammogram. *Applied Catalysis B : Environmental*. 311 (1) : 1-11.
- Singh, S and Datta, J. 2021. Influence of Nafion Template on the Kinetics of Anodic Pt Based Pluri-Metallic Catalyst for Ethanol Electro-Oxidation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 882(1): 114974.
- Sinniah, J. D., Wong, W. Y., Loh, K.S., Yunus, R. M., and Timmiati, S. N. 2022. Perspectives on Carbon-alternative Materials as Pt Catalyst Support for a Durable Oxygen Reduction Reaction in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Journal of Power Source*. 534(1) : 1-24.
- Song, W et al. 2014. Effect of Polytetrafluoroethylene Distribution in the Gas Diffusion Layer on Water Flooding in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Chinese Journal of Catalysis*. 35(1) : 468-473.
- Tahmasebi, S et al. Oxidation and Corrosion of Platinum-Nickel and Platinum-Cobalt Nanoparticles in an Aqueous Acidic Medium. *ACS Applied Energy Materials*. 2(10): 7019-7035.
- Tang, X et al. 2019. Carbon-Supported Ultrafine Pt Nanoparticles Modified with Trace Amounts of Carbon as Enhanced Oxygen Reduction Reaction Catalysts for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Chinese Journal of Catalysis*. 40(4): 504-514.
- Taira, H., and Liu, H. 2012. In-Situ Measurements of GDL Effective Permeability and Under-Land Cross-Flow in a PEM Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(1) : 13725-13730.
- Ting, F. P., Lin, J. C., Lai, C. M., Chyou, S. D., and Hsueh, K. L. 2012. Electrochemical Impedance Spectroscopy to Evaluate the Effect of Pressure Exerted in the Hot-Pressing Stage on the Performance of PEMFC. *International Journal of Electrochemical Science*. 7(1) :7165-7178).
- Utami, M. T. 2018. Pembuatan Elektroda dengan Katalis Pt-Co/C menggunakan Metode Catalyst Coated Membrane (CCM) dan Karakterisasi serta Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) pada Direct Methanol Fuel Cell (DEMFC). *Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya*.
- Wafiroh, S., Suyanto, S., dan Yuliana, Y. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Sodium Alginat Terfosforilasi sebagai Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Jurnal Kimia Riset*. 1(1) :14-21.

- Wisojodharmo, L. A., Arti, D. K., dan Dewi, E. L. 2012. Karakterisasi Grafit Matriks Polistiren Sebagai Material Untuk Separator Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 14(2) :103-107.
- Xia, L et al. 2018. Investigation of Parameter Effects on the Performance of High-Temperature PEM Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(52) : 23441-23449.
- Xing, L et al. 2019. Membrane Electrode Assemblies for PEM Fuel Cells: A Review of Functional Graded Design and Optimization. *Energy*. 177(1) : 445-464.
- You, H et al. 2021. Preparation of a Three-Dimensional Porous PbO<sub>2</sub>-CNTs Composite Electrode and Study of the Degradation Behavior of P-Nitrophenol. *Separation and Purification Technology*. 276(1) : 1-11.
- Yu, S., Hao, J., Li, J., and Zhang, L. 2020. Effect of Distribution of Polytetrafluoroethylene on Durability of Gas Diffusion Backing in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Materials Research Bulletin*. 122(110684) : 1-7.
- Yu, H. N., Lim, J. W., Kim, M. K., and Lee, D. G. 2012. Plasma Treatment of Carbon Fiber Bipolar Plate for PEM Fuel Cell. *Composite Structure*. 94(1) : 1911-1918.
- Yu, Y. H., Lim, J. W., Lee, D. G. 2015. Composite Sandwich Endplates With a Compliant Pressure Distributor for a PEM Fuel Cell. *Composite Structure*. 119(1) : 505-512.
- Yulianti, D. W., Rohendi, D., Syarif, N., and 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.
- Zamel, N., and Li, X. 2012. Effective Transport Properties for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – With a Focus on the Gas Diffusion Layer. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1(1) : 1-36.
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., dan Oktarina, A. 2021. Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) di Impregnasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel. *Jurnal Kinetika*. 12(1) : 23-31.
- Zhou, Z. M et al. 2010. Durability Study of Pt-Pd/C as PEMFC Cathode Catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35 (4) : 1719 – 1726