

**PEMBUATAN DAN UJI KINERJA MEMBRANE ELECTRODE
ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Co/C PADA PROTON
EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)**

SKRIPSI

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



ROMA BINTANG S PASARIBU

08031281722054

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

HALAMAN PENGESAHAN

PEMBUATAN DAN UJI KINERJA MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Co/C PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

SKRIPSI

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

Oleh :

ROMA BINTANG S PASARIBU

08031281722054

Indralaya, 27 Mei 2021

Pembimbing I



Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Nova Yuliasari, S.Si., M.Si
NIP. 197307261999032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Pembuatan dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pd-Co/C 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 Mei 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 27 Mei 2021

Ketua :

1. **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**
NIP. 196704191993031001

()

Anggota :

2. **Nova Yuliasari, S.Si., M.Si**
NIP. 197307261999032001
3. **Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si**
NIP. 197711272005011003
4. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si**
NIP. 197010011999031003
5. **Dra. Fatma, MS**
NIP. 196207131991022001

()
()
()
()



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Roma Bintang S Pasaribu
NIM : 08031281722054
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 27 Mei 2021

Penulis



Roma Bintang S Pasaribu

NIM. 08031181722002

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

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

Nama Mahasiswa : Roma Bintang S Pasaribu
NIM : 08031281722054
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Pembuatan dan Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan Katalis Pd-Co/C pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*" Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 24 Mei 2021

Yang menyatakan,



Roma Bintang S P

NIM. 08031281722054

SUMMARY

FABRICATION AND PERFORMANCE TEST OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) BY USING Pd-Co/C CATALYST ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Roma B S Pasaribu: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T and

Nova Yuliasari, S.Si.,M.Si

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

66 pages, 6 tables, 13 images, 6 appendices

Fabrication and performance test of Membrane Electrode Assembly (MEA) by using Pd-Co/C catalyst on Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) had been done. Mass ratio Pd-Co/C catalyst was varied by using impregnation method. Furthermore, electrode sized 25 cm² with loading 0.5 mg/cm². Anode side was sprayed with Pd:Co catalyst varied by mass ratio at 1:0; 0.75:0.25; 0.50:0.50; 0.25:0.75; 0:1, and load as Pt/C 12 % w/w on cathode parts. MEA was prepared by assembled 2 electrodes between electrolyte membrane.

Electrode characterization was conducted Cyclic Voltammetry method (CV) and Electrochemical Impedance Spectroscopy method (EIS). MEA performance was determined by calculating the OCV value based on the relation between current density vs potential (I-V) and current density vs power density (I-P) from fuel cell test station WonAtech Smart-2. Cyclic Voltammetry characterization would initiate a voltamogram peaks, which consist of anodic and cathodic peak. Voltamogram would be utilized for calculating ECSA value that define the active sites of catalyst. ECSA calculation has resulted maximum value at Pd : Co ratio 1 : 0 as 1480.37 cm²/g. High conductivity was obtained in 0.48 S/cm at Pd : Co ratio as 0.25 : 0.75. XRD spectra showed palladium peaks at 2θ = 42° and cobalt peaks at 2θ = 45°. Maximum MEA performance according to the measurement was achieved at Pd-Co/C ratio 1 : 0 as 11.92 mW/cm².

Keywords : PEMFC, Pd-Co/C catalyst, impregnation, Cyclic Voltammetry,
Electrochemical Impedance Spectroscopy

Citation : 50 (2004-2021)

RINGKASAN

PEMBUATAN DAN UJI KINERJA MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Co/C PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Roma B S Pasaribu: Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan

Nova Yuliasari, S.Si.,M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

66 halaman, 6 tabel, 13 gambar, 6 lampiran

Pembuatan dan uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pd-Co/C pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) telah dilakukan. Katalis Pd-Co/C dengan variasi perbandingan massa palladium dan kobalt dibuat dengan metode impregnasi. Pembuatan elektroda menggunakan loading 0,5 mg/cm² dengan luas elektroda 25 cm². Disisi anoda disemprotkan katalis dengan variasi perbandingan massa Pd : Co = 1:0; 0,75:0,25; 0,50:0,50; 0,25:0,75; 0:1 dan disisi katoda digunakan katalis Pt/C 12 % b/b. Pembuatan MEA dilakukan dengan menempelkan dua elektroda diantara membran elektrolit.

Elektroda diuji sifat elektrokimianya dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Uji kinerja MEA dilakukan dengan mengukur nilai OCV dan pengukuran berdasarkan hubungan antara densitas arus dan tegangan (I-V) serta hubungan antara densitas arus dan densitas daya (I-P) yang diukur menggunakan *fuel cell test station WonAtech Smart-2*. Pengukuran dengan *Cyclic Voltammetry* memberikan informasi berupa kurva voltamogram, yang menunjukkan puncak anodik dan puncak katodik. Kurva voltamogram digunakan untuk mengetahui nilai ECSA yaitu sisi aktif dari katalis. Hasil ECSA elektroda Pd-Co/C yang paling tinggi didapatkan pada perbandingan massa Pd : Co = 1 : 0 sebesar 1480,37 cm²/g. Konduktivitas tertinggi yaitu pada elektroda Pd : Co = 0,25 : 0,75 sebesar 0,48 S/cm. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan puncak untuk palladium ada pada $2\theta = 42^\circ$ dan puncak kobalt ada pada $2\theta = 45^\circ$. Berdasarkan pengukuran kinerja MEA yang paling baik adalah pada perbandingan massa katalis Pd : Co = 1 : 0 sebesar 11,92 mW/cm².

Kata kunci : PEMFC, Katalis Pd-Co/C, Impregnasi, *Cyclic Voltammetry*,
Electrochemical Impedance Spectroscopy

Sitasi : 50 (2004-2021)

Skripsi ini kupersembahkan untuk :

- ❖ Tuhan Yesus yang baik
- ❖ Ibuku yang selalu berjuang untuk memberikan yang terbaik dan selalu menyebutkan namaku dalam setiap doanya
- ❖ Kakak- abangku yang selalu memberi dukungan baik motivasi maupun materi
- ❖ Teman-temanku yang telah mengajarkan banyak hal di perantauan ini
- ❖ Almamaterku (Universitas Sriwijaya)

Mazmur 25:5

**Bawalah aku berjalan dalam kebenaran-Mu dan ajarlah aku,
sebab Engkaulah Allah yang menyelamatkan aku,
Engkau kunanti-nantikan sepanjang hari**

**Put God in your heart
Surrender your worries
Be happy**

Amsal 23: 18

**Karena masa depan sungguh ada,
dan harapanmu tidak akan hilang**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis, sehingga bisa menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pembuatan dan Uji Kinerja MEA (Membrane Electrode Assembly) dengan Katalis Pd-Co/C pada PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)”**

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

1. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku pembimbing pertama dan ibu Nova Yuliasari, M.Si selaku pembimbing kedua yang selalu sabar dan telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran serta petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Nirwan syarif, M.Si, Bapak Dr. rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si dan ibu Dra. Fatma, MS yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.
3. Bapak Hermansyah, Ph,D selaku dekan FMIPA, Universitas sriwijaya dan bapak Dr. Hasanudin, M. Si selaku ketua jurusan Kimia.
4. Ibu Widia Purwaningrum, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik dan bapak Dr. Ady Mara, M.Si selaku dosen pembimbing kerja praktek (KP).
5. Ibuku tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan-ku serta selalu memberikan yang terbaik padaku. Kakak-abangku (kak Sari, kak Elis, bang Tota, bang Emmon, bang Doyok dan kak Jhulyy) terimakasih atas jerih payah kalian hingga aku si bungsu bisa sarjana. Keponakanku yang cantik Diandra, Isabel dan Hugues yang selalu menghibur dengan konten tiktaknya serta keponakanku yang lucu Paris, Marquest dan Hans yang selalu memberi keceriaan.
6. Team PUR kak Dwi sebagai ketua team yang menjadi kakak untuk mengadakan segala keluh kesah selama penelitian, pemberi solusi dalam setiap kendala di lab, yang ngajarin supaya tidak buang-buang waktu, dan yang selalu bertanya “udah gimana skripsinya ?” ahahah. Kak Reka, kak Icha, kak Wulan dan kak Dea yang besar partisipasinya dalam pembuatan

skripsi ini “sehat-sehat terus ya kalian kakakku. Kak Yuni Artika yang mengajarkan ‘sejak kapan duit menjadi masalah ahahaha’, kawan ngegibah serta kak Winni orang baik yang selalu bagiin cemilan.

7. Team PUR 17, Ayu Wandira teman seperjuangan dari awal penelitian, yang tidak pernah nolak antar jemput selama penelitian, yang selalu peduli dan perhatian dengan diriku, semua kebodohan kita, prasangka buruk kita “bisa dak kita ni wak?” ahahah pada akhirnya kita bisa lewati semua. Dila Nursyafitri Mbah googleku, makasih jurnal² nya ndak S.Si aku men katek jurnal dari kau, kawan main game sepanjang hari selama penelitian, yang selalu nge *push* “ayo Roma kerjain skripsimu”. Banyak-banyakin karaoke dil. Punya pengalaman yang paling memalukan tapi ngakak sama orang baik yang satu ini, siapa lagi kalau bukan Ory Adelia, maaf ya sudah menambah bekas lukamu, ahahah biarlah luka itu mengingatkanmu padaku wuhaha (Banyakin porsi makan mu Woyyyyy). Vadia Driver handalku, kawan mengelilingi sudut-sudut perkotaan Palembang eaaa, (Sangat Bersyukur memiliki kalian) . Indra sang pejuang kemanusiaan, Nimyo dan Saumi. “terimakasih atas pengertian dan kebersamaan kalian semua”.
8. Indah Sari jangan bucin Stray kids teross. Semoga cepat nikah ahahah, Melsy sudah nonton kartun tu, Fatmawati makan yang banyak fat biar gemuk, Ulva jangan santai nian hidupnya, Meilita makasih udah ngasih ngutang paket sama token listrik. Kalian teman yang menemani hari-hari selama pendidikanku, waktu luangku serta menjadi sahabat keluh kesahku. Maaf aku jadi beban buat kalian ahahah, apa-apa minta tolongnya ke kalian. Jangan lupain aku yo, walaupun gek kita udah beda² tempat, berharap kita tetap bisa kompak dan saling komunikasi nantinya. Sekali lagi “trimakasih banyak buat kalian”.
9. Mbak novi dan kak Iin yang membantu dalam setiap urusan perkuliahan selama 4 tahun ini
10. My room mate Sondang dan Elga yang tau segala keburukanku dan yang selalu sabar menghadapi sikapku. Yok yok kita kaya raya bersama, harus

jadi ke luar negeri bareng. Riris, Apnes, Wiwid kita sama sama pejuang debu layo. Bapak kos yang menyediakan kosan yang asri.

11. Team Kuliah Pegi² Nuklir KP (kerja Praktek) di BATAN Jumik, Enggi, Bang Tata tetaplah nekad dalam segala hal. Team yang sok cuek padahal perhatian ahahaha. Trimakasih buat pengalaman berharganya.
12. Putri Sari, Rahmawati, Mela, Trikur, lili, Fella, Defi, Puput, Cik Ayu dan semua teman-teman kimia 2017 yang banyak sekali jika kusebutkan satu persatu "*I can't say thank you enough*"
13. Teman-teman se-Iman dan se-Amin Yohana, Nadia, bang Jepri, Omni, Kak Erna, Juju, Indah Angraini "*sering-sering ke Gereja yoo ahahaha*"
14. Keluarga besar GPDI Sap yang menjadi keluarga rohaniku. Trimakasih buat kebersamaannya. Jesus Bless Us.
15. Staf dosen dan analis FMIPA Kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
16. Keluarga MIPA-KIMIA angkatan 2013. 2014, 2015, 2016, 2018, 2019,dst.
17. Seluruh saudara, sahabat dan semua pihak yang tidak dapat ditulis satu per satu atas sumbangan baik moral maupun spiritual demi terwujudnya Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak seluruhnya sempurna, untuk itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi kita semua.

Indralaya, 27 Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
SUMMARY.....	vi
RINGKASAN.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Fuel Cell</i> (Sel Bahan Bakar).....	5
2.2 Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i>	5
2.3 PEMFC (<i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>).....	6
2.4 Komponen penyusun PEMFC	7
2.5.1 MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>)	8
2.5.2 Gasket.....	9
2.5.3 Plat Bipolar	10
2.5.4 <i>End Plate</i>	11
2.5 Katalis	11
2.5.1 Palladium (Pd)	13

2.5.2 Kobalt (Co).....	14
2.5.3 Penggunaan Palladium dan Kobalt sebagai katalis.....	14
2.6 Metode Impregnasi.....	15
2.7 Karakterisasi Elektroda.....	15
2.8.1 <i>Cyclic Voltametry (CV)</i>	16
2.8.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	17
2.8.3 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	18
2.8 Uji Kinerja MEA dengan Kurva polarisasi.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1 Pembuatan Katalis Pd-Co/C	20
3.3.2 Pembuatan Elektroda	21
3.3.3 Karakterisasi Elektroda Pd-Co/C.....	22
3.3.3.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltametry</i>	22
3.3.3.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	22
3.3.3.3 <i>X-Ray Diffraction</i>	24
3.4 Pembuatan MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>).....	24
3.5 Uji Kinerja MEA	24
3.6 Analisis Data	25
3.6.1 <i>Cyclic Voltametri</i>	25
3.6.2 <i>Electrochemical Inpedance Spectroscopy</i>	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Preparasi elektroda dengan katalis Pd-Co/C dan pembuatan MEA	27
4.2 Karakterisasi elektroda	28
4.3.1 Pengujian sifat elektrokimia menggunakan CV	28
4.3.2 Pengujian sifat elektrokimia menggunakan EIS.....	30
4.3.3 Karakterisasi elektroda menggunakan XRD	32
4.3 Pengujian kinerja MEA	33

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perbandingan Massa Pd dan Co pada Pd-Co/C	21
Tabel 2. Analisis data nilai ECSA	22
Tabel 3. Analisis data nilai Konduktivitas	23
Tabel 4. Data ECSA pada perbandingan massa Pd : Co.....	30
Tabel 5. Nilai Konduktivitas pada perbandingan massa Pd : Co	32
Tabel 6. Nilai OCV kinerja MEA.....	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Kerja <i>Fuel Cell</i>	6
Gambar 2. Komponen PEMFC	8
Gambar 3. Struktur Membran Nafion	9
Gambar 4. Voltamogram	17
Gambar 5. Kurva polarisasi.....	29
Gambar 6. <i>Stack</i> PEMFC dan <i>fuel cell test station</i> won <i>Atech smart 2</i>	25
Gambar 7. <i>Backing Layer (carbon paper)</i>	27
Gambar 8. (a) Elektroda dan (b) MEA	28
Gambar 9. Voltamogram Elektroda.....	29
Gambar 10. Kurva <i>Nyquist</i>	31
Gambar 11. Difraktogram elektroda Pd-Co/C.....	33
Gambar 12. Grafik hubungan antara tegangan dan densitas arus (I-V).....	35
Gambar 13. Grafik hubungan antara densitas arus dengan daya (I-P)	39

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema kerja	45
Lampiran 2. Perbandingan massa Pd dan Co pada Pd-Co/C	47
Lampiran 3. Diagram Voltammogram.....	48
Lampiran 4. Perhitungan nilai ECSA	51
Lampiran 5. Data EIS dan nilai konduktivitas elektroda.....	60
Lampiran 6. Gambar alat dan penelitian	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama yang masih digunakan hingga saat ini, penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus menyebabkan menipisnya ketersediaan sumber energi. Selain itu, bahan bakar fosil juga menghasilkan karbon monoksida sebagai emisi sehingga bersifat tidak ramah lingkungan (Gimba *et al.*, 2016). Adanya masalah ini maka dibutuhkan suatu konversi energi baru yang lebih ramah lingkungan. Salah satu bentuk energi baru yang menjadi perhatian besar oleh banyak negara-negara maju adalah penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar (Wahyuni dkk, 2016). Penggunaan hidrogen merupakan suatu alternatif yang harus dikembangkan, dimana keberadaannya banyak di alam dan suplai energi yang dihasilkan melalui *fuel cell* sangat bersih karena hanya menghasilkan air sebagai emisinya (Hashim *et al.*, 2018).

Fuel cell merupakan sel elektrokimia yang dapat mengubah bahan bakar (energi kimia) menjadi energi listrik (Styana dan Nurul, 2019). Jenis jenis *Fuel cell* dibedakan berdasarkan bahan bakar dan elektrolit yang digunakan, Misalnya *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) dengan metanol dan oksigen sebagai bahan bakarnya, *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) menggunakan bioetanol dan oksigen sebagai bahan bakarnya serta *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) menggunakan bahan bakar berupa hidrogen dan oksigen dengan membran nafion sebagai elektrolitnya (Ong *et al.*, 2017). Jenis *fuel cell* yang digunakan dalam penelitian ini adalah PEMFC. Reaksi kimia yang berlangsung pada PEMFC ini adalah gas hidrogen diubah menjadi proton (H^+) dengan reaksi katalisis pada anoda, demikian pula oksigen diubah menjadi O^{2-} pada katoda (Dewi dan Raharjo, 2015). Keuntungan penggunaan PEMFC adalah memiliki tingkat konversi yang tinggi, dapat beroperasi pada temperatur dan tekanan yang rendah (Wang *et al.*, 2020).

Komponen utama yang harus ada pada PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA merupakan pusat terjadinya reaksi kimia yang diubah menjadi energi listrik. MEA terdiri dari membran elektrolit yang diapit oleh katoda dan anoda pada kedua sisi. MEA berfungsi untuk mengontrol aliran

proton dari hasil reaksi oksidasi hidrogen di anoda. MEA juga berperan untuk mengontrol aliran elektron sehingga mengalir melalui sirkuit luar dan memastikan elektron tidak menembus membran elektrolit. Kinerja MEA ditentukan dari tingginya rapat arus (*current density*) yang dihasilkan. Untuk mendapatkan kinerja yang maksimal maka harus diperhatikan kandungan dan jenis katalis yang digunakan (Rohendi *et al.*, 2013).

Salah satu bagian yang sangat mempengaruhi kinerja MEA yakni katalis. Lapisan katalis merupakan komponen utama dalam PEMFC, yang merupakan tempat proses konversi bahan bakar menjadi energi listrik (Ye *et al.*, 2017). Secara umum, katalis yang digunakan dalam elektroda (baik anoda maupun katoda) *fuel cell* berupa katalis berbasis platina (tunggal) yang cukup mahal. Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan platina, maka dilakukan paduan dua logam (Wang *et al.*, 2017).

Penelitian ini akan melakukan penggabungan katalis palladium dengan logam kobalt. Namun sebelumnya (Sankar *et al.*, 2018) telah melakukan penelitian dengan menggabungkan katalis palladium dan kobalt yang terbukti menghasilkan reaksi katalitik yang stabil dan (Woo *et al.*, 2011) melakukan penggabungan logam golongan transisi platina dan kobalt di dapatkan hasil bahwa platina dan kobalt dapat terdistribusi dengan baik di permukaan karbon. Palladium dipilih karena stabil dalam reaksi katalitik, ketersediaannya masih melimpah dan harganya yang lebih murah (Cho *et al.*, 2012). Palladium memiliki konfigurasi elektron valensi dan konstanta kisi yang serupa dengan platina. Selain itu stabilitas palladium dalam kondisi asam sebanding dengan platina. Hasil penelitian menunjukkan paduan Pt-Pd menunjukkan aktivitas dan daya tahan tinggi untuk reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda. Peningkatan kandungan palladium menunjukkan aktivitas katalitik yang lebih tinggi (Tang *et al.*, 2011).

Elektroda terdiri atas *backing layer*, *gas diffusion layer* dan lapisan katalis. Pembuatan elektroda menggunakan *backing layer* berupa *carbon paper* yang baik digunakan sebagai pengemban. Elektroda harus kedap air serta bersifat konduktif terhadap proton, oleh karena itu dilakukan penambahan politetrafluoroetilen (PTFE) dan larutan nafion. Lapisan katalis dibuat dengan menyemprotkan tinta katalis pada *backing layer* sehingga akan membentuk elektroda. Juwita, 2020

telah melakukan pengujian elektroda dengan katalis Co-Fe/N-C serta wang, 2012 menguji kinerja elektroda dengan katalis Pd-Co/C didapatkan hasil bahwa aktifitas katalis pada elektroda cukup baik yang diketahui dari tingginya nilai ECSA yang dihasilkan. Oleh karena itu, Penggunaan katalis palladium dan kobalt dapat menjadi solusi untuk meminimalisir penggunaan platina. Atas dasar inilah maka dilakukan penelitian pembuatan katalis paduan palladium-kobalt berbasis karbon dan dilakukan karakterisasi pada elektroda serta uji kinerja MEA.

1.2 Rumusan Masalah

- 1 Apakah pembuatan katalis Pd-Co/C menggunakan metode impregnasi efektif untuk dilakukan?
- 2 Karakterisasi apa saja yang akan dilakukan terhadap katalis Pd-Co/C?
- 3 Berdasarkan karakterisasi dan uji kinerja MEA, pada perbandingan massa berapakah kinerja MEA yang paling baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- 1 Mensintesis katalis Pd-Co/C dengan variasi perbandingan massa Pd dan Co menggunakan metode impregnasi.
- 2 Karakterisasi elektroda Pd-Co/C dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry (CV)*, analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) dan Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*
- 3 Menentukan kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan katalis Pd-Co/C pada perbandingan massa Pd : Co bervariasi pada PEMFC yang diukur menggunakan *fuel cell test station WonAtech Smart-2*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi penggunaan platina sebagai katalis untuk PEMFC dengan mengganti katalis menggunakan paduan palladium dan kobalt berbasis karbon sebagai alternatif. Paduan katalis ini diharapkan memiliki kinerja yang baik dan harga yang lebih murah dalam proses pembuatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abderezak, Bilal. 2018. Introduction to Transfer Phenomena in PEM Fuel Cell *Introduction to Hydrogen Technology*.
- Bojang, Adama, A and Ho, Shing. W. 2020. Characterization of Electrode Performance in Enzymatic Biofuel Cells Using Cyclic Voltammetry and Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Catalysts*. 10(7): 1–20.
- Bredar, Alexandria, R.C., Amanda L. C., Andricus, R. B and Byron H. Farnum. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*. 3(1): 66–98.
- Chen, L., Rui, L., Shenghao, T., Di, Z and Zhixian, H. 2020. Structural Design of Gas Diffusion Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cell at Varying Humidification. *Journal of Power Sources*. 1(1): 1–9.
- Cho, Y. H., Cho, Y. H., Lim, J.W., Hee, Y.P., Namgee, J., Minjehn, A., Heeman, C and Yung, E. S. 2012. Performance of Membrane Electrode Assemblies Using Pd-Pt Alloy as Anode Catalysts in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7): 5884–90.
- Deliyanni., Eleni., Teresa, J., Bandosz and Kostas, A. Matis. 2013. Impregnation of Activated Carbon by Iron Oxyhydroxide and Its Effect on Arsenate Removal. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 88(6): 1058–66.
- Dewi., Eniya, L and Jarot, R. 2015. Perbandingan Grafit Bipolar Plate Model Parallel dan Serpentine Sebagai Komponen Separator Pada PEMFC. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. 12(2): 47–50.
- Dewi., Mahdi., Teguh, N dan Tri, K. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*. 22(3): 34–42.
- Dey., Tapobrata., Jaydeep, D., Debanand, S and Prakash, C. G. 2019. Study of PEM Fuel Cell End Plate Design by Structural Analysis Based on Contact Pressure. *Journal of Energy*. 1(1): 1–11.
- Dian, A., Maman, K., K, Rosika and Yanlinastuti. 2014. Analisis Korosi Paduan AlMg₂ dan AlMgSi Menggunakan Metode Elektrokimia. *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*. 20(3): 139–46.

- EG&G Technical Services, Inc. 2004. "Fuel Cell Handbook." In *Morgantown, West Virginia: U.S. Department of Energy*: 1235–36.
- Elgrishi, N., Kelley, J. R., Brian, D. M., Eric, S. R., Thomas, t., Eishenart and Jilian, L. D. 2018. A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*. 95(2): 197–206.
- Gimba, I. D., A. S. Abdulkareem., A, Jimoh and A, S. Afolabi. 2016. Theoretical Energy and Exergy Analyses of Proton Exchange Membrane Fuel Cell by Computer Simulation. *Journal of Applied Chemistry*. 2016: 1–15.
- Giorgi., Leonardo and Fabio, L. 2013. Send Orders of Reprints at Reprints@benthamscience.Net Fuel Cells: Technologies and Applications. 6(1): 1–20.
- Gunawan, I., Wahyudianingsih, Wahyudianingsih, dan Sudaryanto Sudaryanto. 2018. Studi Electrochemical Impedance Spectroscopy dari Lembaran Polyvinyl Alcohol dengan Penambahan LiClO₄ Sebagai Bahan Elektrolit Baterai Li-Ion. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 18(1): 9–15.
- Hashim, S. S., Mahendra, R. S., Kee, S. L., Shaomin, L., Wei, Z and Jaka, S. 2018. Perovskite-Based Proton Conducting Membranes for Hydrogen Separation: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 15281–305.
- Irawan., Hery., Sukendro., Broto dan Anzhaldy. 2017. Studi Eksperimental Deformasi Kristal Pada Daerah Haz Dengan Menggunakan XRD. *Jurnal Penelitian LPPM Untag Surabaya*. 2(1): 10–16.
- Juwita. 2020. Studi Temperatur Humidifier dan Laju Alir Hidrogen Terhadap Kinerja Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Menggunakan Katalis Pt/C dan Co-Fe/N-C. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.
- Kadirgan, F., A, M. Kannan., T, Atilan., S, Beyhan., S, S. Ozenler., S, Suzer and A, Yorur. 2009. Carbon Supported Nano-Sized Pt-Pd and Pt-Co Electrocatalysts for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 34(23): 9450–60.
- Mahreni. 2010. Aplikasi Membran Nanokomposit Sebagai Elektrolit Sel Bahan Bakar Hidrogen Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Indonesian Journal of Materials Science*. 12(1): 52–58.

- Mardwita., Sri, Haryati dan Muhammad, D. Bustan. 2016. Studi Pengaruh Ukuran Partikel Ruthenium dalam Katalis Ru/Al₂O₃ pada Reaksi Hidrogenasi Karbon Monoksida. *Jurnal Teknik Kimia*. 22(4): 61–68.
- Martínez-Casillas., Vázquez-Huerta., J. F. Pérez-Robles, and O. Solorza-Feria. 2011. Electrocatalytic Reduction of Dioxygen on PdCu for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Journal of Power Sources*. 196(10): 4468–74.
- Meng, Hui, Dongrong Zeng, and Fangyan Xie. 2015. Recent Development of Pd-Based Electrocatalysts for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Catalysts*. 5(3): 1221–74.
- Nguyen, Tu and Cao-thang Dinh. 2020. Chem Soc Rev Gas Diffusion Electrode Design for Electrochemical. *Royal Society of Chemistry*. 1(1): 1–17.
- Niaei., Aligholi., Dariush, S and Seyed, A. H. 2010. Study of Catalytic Activities of Nanostructure Copper and Cobalt Supported ZSM-5 Catalysts for Conversion of Volatile Organic Compounds. *Turkish Journal of Chemistry*. 34(1): 15–25.
- Nishimura, Y. F. Hideaki, O., Takamasa, N., Yoshinari, M and Kazuhiko, D. 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): 226721.
- Ong, B. C., S. K. Kamarudin, M. S. Masdar, and U. A. Hasran. 2017. Applications of Graphene Nano-Sheets as Anode Diffusion Layers in Passive Direct Methanol Fuel Cells (DMFC). *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 9252–61.
- Page-,Pérez M. and Pérez-Herranz, V. 2011. Effect of the Operation and Humidification Temperatures on the Performance of a PEM Fuel Cell Stack. *Int. J. Electrochem. Sci* 25(1): 733–45.
- Park, Sehkyu, Jong, Won. Lee and Branko, N. Popov. 2012. A Review of Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells: Materials and Designs. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7): 5850–65.
- Pourret, Olivier, and Michel-pierre Faucon. 2018. *Chapter · January 2018*.
- Qin, C., Jue, W., Daijun, W., Bing, L and Cunman, Z. 2016. Proton Exchange

- Membrane Fuel Cell Reversal: A Review. *Catalysts*. 6(12): 1–21.
- Rahmawati, F., Sri, W dan Sri, K. 2012. Studi Deaktivasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Pada Reaksi Hidrodenitrogenasi (Hdn) Piridin. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 1(1): 21–30.
- Rahmawati, D. A., D. Intaningrum dan I. Istadi. 2013. Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Heterogen SO₂- ZnO Dan SO₂/ZnO Dengan Metode Kopresipitasi Dan Impregnasi Untuk Produksi Biodiesel Dari Minyak Kedelai. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2(4): 243–52.
- Randviir., Edward, P and Craig, E. Banks. 2013. *Electrochemical Impedance Spectroscopy - an Overview / ScienceDirect Topics*.
- Riyanto. 2013. Elektrokimia dan aplikasi ..Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rohendi, D., Edy, H. M., Abu, B. M., Wan, R. W. D., Abdul, A. H. K and Loh, K.S. 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): 9431–37.
- Rohendi, D., Addy, R and Nirwan, S. 2018. Fabrication and Characterization of Pt-Co/C Catalyst for Fuel Cell Electrode. *Journal of Physics: Conference Series*. 1(1).
- Rosli, R. E., A A, B. Sulong., W, R. W. Daud., M, A. Zulkifley., T, Husaini., M, I. Rosli., E, H. Majlan and M, A. Haque. 2016. Review of High-Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell (HT-PEMFC) System. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(14): 9293–9314.
- Safitri., Icmi, Alif., Bayu, Rudiyanto., Agus, N dan Budi, Hariono. 2016. Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 16(1).
- Sankar., Sasidharan., Gopinathan M., Anilkumar., Takanori Tamaki and Takeo Yamaguchi. 2018. Cobalt-Modified Palladium Bimetallic Catalyst: A Multifunctional Electrocatalyst with Enhanced Efficiency and Stability toward the Oxidation of Ethanol and Formate in Alkaline Medium. *ACS Applied Energy Materials*. 1(8): 4140–49.
- Styana, U. I. F dan Nurul, U. 2019. Pengaruh Laju Alir Dan Tekanan Hidrogen Terhadap Arus dan Tegangan yang Dihasilkan Oleh Proton Exchange

- Membrane Fuel Cell. *Seminar Nasional UNRIYO*: 382–88.
- Tang, Yongfu et al. 2011. Carbon-Supported Pd-Pt Cathode Electrocatalysts for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Journal of Power Sources* 196(7): 3523–29.
- Wahyuni, S., Lukman, H dan Fikri, H. 2016. Pemanfaatan Limbah Kaleng Minuman Aluminium Sebagai Penghasil Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 1(1): 92–104.
- Wang, D., Huolin, L. X., Hongsen, W., YingChao, Y., Eric, R., David, A. M., Francis, J. D and Hector, D. A. 2012. Facile Synthesis of Carbon-Supported Pd-Co Core-Shell Nanoparticles as Oxygen Reduction Electrocatalysts and Their Enhanced Activity and Stability with Monolayer Pt Decoration. *Chemistry of Materials*. 24(12): 2274–81.
- Wang, K. C., Hsin, C. H and Chen, H. W. 2017. Synthesis of Pd@Pt₃Co/C Core–Shell Structure as Catalyst for Oxygen Reduction Reaction in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 11771–78.
- Wang, Ranran., Zhou, C., Zhongwei, F., Tao, X., Zuolei, Z., Bin, Y., Chenxi, X and Jigui, C. 2020. Pt Nanowire/Ti₃C₂T_x-CNT Hybrids Catalysts for the High Performance Oxygen Reduction Reaction for High Temperature PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 1–6.
- Woo, S., in, K., Jae, K. L., Sungyool, B., Jaeyoung, L and Hasuck, K. 2011. Preparation of Cost-Effective Pt-Co Electrodes by Pulse Electrodeposition for PEMFC Electrocatalysts. *Electrochimica Acta* 56(8): 3036–41.
- Xing, C., Peipei, A., Peipei, Z., Xinhua, G., ruiqin, Y., Noriyuki, Y., Jian, S., Prasert, R and Noritatsu, T. 2016. Fischer–Tropsch Synthesis on Impregnated Cobalt-Based Catalysts: New Insights into the Effect of Impregnation Solutions and PH Value. *Journal of Energy Chemistry*. 25(6): 994–1000.
- Ye, Licheng., Yuan, G., Siyao, Z., Junsheng, Z., Ping, L and Jim, P.Z. 2017. A Pt Content and Pore Structure Gradient Distributed Catalyst Layer to Improve the PEMFC Performance. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1):

7241–45.

Yusof, M.S.M., A.A. Jalil, A, Ahmad., S, Triwahyono., M, H.D. Othman., T, A. T. Abdullah., M, L. Firmansyah., H,D. Setiabudi., A, Johari and W, Nabgan. 2018. Effect of Pt–Pd/C Coupled Catalyst Loading and Polybenzimidazole Ionomer Binder on Oxygen Reduction Reaction in High-Temperature PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 1-10.